

Оценка эффективных доз при проведении баллонной пластики пищевода у детей

Ю.Н. Капырина¹, А.В. Водоватов^{1,2}, В.Г. Пузырев¹, М.И. Комиссаров¹, И.Ю. Алешин¹,
В.Ю. Голиков², В.И. Орел¹

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет,
Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

² 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

Интервенционные исследования связаны с высокими уровнями облучения пациентов, что обуславливает повышенное внимание к контролю доз пациентов, а также оценки радиационных рисков и вероятности развития детерминированных эффектов. Целью данного исследования являлась оценка эффективных доз при проведении интервенционных исследований на примере баллонной пластики пищевода, которую выполняли педиатрическим пациентам в возрасте от 1 до 2 лет на базе отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. Модели облучения пациентов были разработаны на основе собственных данных. Расчет эффективных и органических доз пациентов, нормированных на значение произведения дозы на площадь, измеренного в ходе исследования, проводился с помощью программного обеспечения РСХМС 2.0. Значения коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе, определенные с использованием тканевых взвешивающих коэффициентов из Публикаций МКРЗ 60 и 103, составили 10,7 и 11,7 мкЗв/сГр х см² соответственно. Результаты верификации метода оценки эффективных доз на примере баллонной пластики пищевода показали, что использование несоответствующих коэффициентов перехода может приводить к недооценке эффективных доз детей в несколько раз. Различия в значениях коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе значительны и объясняются разницей в исходных параметрах используемого ангиографического аппарата, используемых параметрах напряжения, расстояния источник – приемник и размера поля облучения на самом пациенте. Для конкретной рассмотренной процедуры была предложена упрощенная модель облучения пациентов, описываемая одним полем облучения. Оценка эффективных доз с использованием многопольной и однопольной модели показала сопоставимые результаты, что позволяет в похожих случаях использовать дифференцированный подход к оценке доз облучения пациентов.

Ключевые слова: эффективная доза, коэффициенты перехода, интервенционные исследования, дети, медицинское облучение.

Введение

К интервенционным исследованиям относятся минимально инвазивные хирургические вмешательства, проводимые под контролем методов медицинской визуализации. В рамках данных исследований хирургические вмешательства сопровождаются получением рентгеновского изображения различных анатомических областей в режиме реального времени при облучении пациента в течение длительного времени. Этим исследованиям подвергаются как взрослые, так и педиатрические пациенты [1, 2, 3, 4]. Интервенционные исследования ассоциированы с высокими уровнями облучения пациентов, что обуславливает повышенное внимание к контролю доз пациентов, а также оценке

радиационных рисков и вероятности развития детерминированных эффектов [1, 2, 5–14].

Однако интервенционные исследования имеют ряд особенностей, которые обуславливают сложность оценки доз пациентов [7, 9, 15, 16, 17]. К ним можно отнести облучение пациента в режиме реального времени с изменением проекций облучения и наличием кранио-каудальных углов наклона рентгеновской трубки в рамках одного исследования. Кроме того, исследование включает в себя не только непрерывное облучение (рентгеноскопию), но и получение серий рентгеновских снимков (рентгенографию). В процессе облучения пациента происходит изменение анодного напряжения и анодного тока в режиме реального вре-

Капырина Юлия Николаевна

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

Адрес для переписки: 194100, Россия, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; E-mail: kapirina-yuliya@yandex.ru

мени в зависимости от толщины и плотности анатомической области пациента для обеспечения постоянной мощности дозы на приемнике рентгеновского изображения. Важно отметить, что интервенционные исследования не являются стандартизованными, поэтому расположение области исследования, размер поля облучения, время просвечивания и количество этапов исследования определяются диагнозом, течением и проявлением патологического процесса пациента, его анатомическими особенностями, особенностями используемого аппарата, а также квалификацией и опытом работы персонала, выполняющего данное исследование [18, 19].

Существующие подходы к оценкам доз облучения пациентов при проведении интервенционных исследований, как правило, не подразумевают оценки эффективной дозы (зарубежные подходы): оценка уровней облучения пациентов проводится по измеренным дозовым характеристикам (произведению дозы на площадь, поглощенной дозе в коже и пр.). Расчеты эффективных доз, как правило, основываются на использовании коэффициентов перехода (КП) от произведения дозы на площадь к эффективной дозе.

В отечественной практике эффективные дозы у пациентов оценивают согласно МУ 2.6.1.3584-19¹ с помощью коэффициентов перехода от выбранных дозовых характеристик поля излучения к эффективной дозе. К сожалению, в МУ 2.6.1.3584-19 значения КП представлены преимущественно для взрослых пациентов. Для педиатрических пациентов даны лишь коэффициенты для наиболее часто проводимых коронарных исследований, и, как правило, геометрические модели облучения ограничены 1 полем (проекцией) облучения, а также упрощен учет физико-технических параметров проведения исследования. Недостатком данного метода является ограниченное количество представленных исследований, отсутствие специфики видов (методов) выбранных исследований, отсутствие учета реальных параметров (режимов) исследований, отсутствие учета характеристик используемого рентгеновского оборудования. Помимо этого, значения коэффициентов перехода, приведенные в МУ, могут использоваться только при условии соответствия параметров проведения исследования, для которого рассчитывается эффективная доза, указанным в МУ, и только для 1 анатомической области. Если в процессе выполнения рентгенологического исследования облучается несколько анатомических областей или 1 анатомическая область, но под разными углами (проекциями), использование существующего способа затруднительно.

Цель исследования – оценка эффективных доз для баллонной пластики пищевода [20–24], которую выполняли педиатрическим пациентам в возрасте от 1 до 2 лет.

Материалы и методы

Исследование было выполнено на базе отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения

Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета на примере баллонной пластики пищевода, которую выполняли педиатрическим пациентам в возрасте от 1 до 2 лет. Критериями выбора данного вида интервенционных исследований стали его наибольшая распространенность среди прочих в данном отделении (в 2021 г. вклад данных исследований по количеству процедур составил 35%) и отсутствие коэффициентов перехода для определения эффективной дозы пациентов с использованием утвержденных методик (МУ 2.6.1.3584-19). Сбор данных проводился в период с июля 2021 г. по август 2022 г.; в выборку вошло 11 пациентов (табл. 1).

Таблица 1

Общие сведения о пациентах, которым выполнялась баллонная пластика пищевода

[Table 1

The data on patients with fluoroscopy-guided balloon dilatation of benign esophageal strictures]

№ пациента [Patient]	Пол [Gender]	Возраст [Age]	Масса, кг [Weight, kg]
1	М [M]	8 мес. [8 months]	14,0
2	М [M]	8 мес. [8 months]	14,0
3	М [M]	1 год 7 мес. [1 year 7 months]	13,5
4	М [M]	7 мес. [7 months]	14,0
5	М [M]	8 мес. [8 months]	14,0
6	М [M]	1 год 3 мес. [1 year 3 months]	7,0
7	М [M]	1 год 10 мес. [1 year 10 months]	8,0
8	М [M]	1 год 10 мес. [1 year 10 months]	14,0
9	Ж [F]	1 год 8 мес. [1 year 8 months]	9,5
10	М [M]	1 год 11 мес. [1 year 11 months]	14,7
11	М [M]	1 год 5 мес. [1 year 5 months]	11,5

Исследования проводились на кардиоваскулярной системе визуализации Innova 3100/4100, GE Medical Systems с общей фильтрацией 3,5 мм Al + 0,3 мм Cu, типовой размер поля облучения для выбранного исследования составлял 30×30 см. Это устройство представляет собой дистанционно управляемый рентгеновский аппарат, оснащенный клиническими дозиметрами (ионизационными камерами) KermaX (Германия); дозиметры были откалиброваны при последнем проведении контроля эксплуатационных параметров. Данные, касающиеся всех параметров проведения исследований, собирались авторами вручную во время проведения исследований с использованием специально разработанных анкет. Помимо

¹ Методические указания МУ 2.6.1.3584-19. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. М.: Роспотребнадзор, 2019. 32 с. [Methodical guidelines MU 2.6.1.3584-19. Control of the patient effective doses from X-ray diagnostic examinations. Moscow: Rosпотребнадзор; 2019. 32 p. (In Russ.)]

этого, данные о проведенных интервенционных исследованиях были экспортированы из цифрового архива рентгеновских изображений (PACS) и записаны в формате DICOM. Эти записи в дальнейшем использовались для построения модели облучения пациентов с помощью программного обеспечения РСХМС 2.0 и для проверки собранных данных.

Для построения расчетной модели в программе РСХМС 2.0. рентгенологическое исследование было преобразовано в набор типичных фаз рентгеноскопии и рентгенографии, определяемых исследуемой анатомической областью и проекцией облучения пациента. Каждая фаза представляла собой набор дискретных полей излучения, соответствующих местоположению определенных органов пациента. Если значительного перемещения рентгеновской трубки не происходило, то фаза состояла из одного поля облучения. Если же движение трубки было значительным, фаза состояла из нескольких полей, каждое из которых соответствовало определенной анатомической области [25]. Оценка значимости перемещения основывалась на:

- количестве и положении органов, облучаемых в рамках данной фазы рентгеноскопии (появлении новых органов в поле облучения или сокращении площади облучения органа более чем на 50%);
- изменении проекции облучения пациента;
- изменении расстояния источник – приемник, или угла наклона рентгеновской трубки более чем на 10%.

Построение расчетных моделей основывалось на данных, собранных авторами при участии и во взаимодействии с рентгенохирургами, проводящими исследование. Структура интервенционного исследования «Баллонная пластика пищевода» для детей в возрасте от 1 до 2 лет описывается 5 полями излучения в задне-передней проекции. В соответствии с этой геометрией в программном обеспечении РСХМС 2.0. была подготовлена расчетная модель облучения (табл. 2).

Ориентирами для первого поля облучения являются: верхняя граница поля облучения – верхняя челюсть; нижняя граница – верхний край печени и середина желудка; боковые границы – границы перикарда; при этом в поле видимости находится весь пищевод. Второе поле облучения смещено на 3–4 см влево относительно пациента по сравнению с полем облучения 1. Ориентиры для третьего поля облучения: верхняя граница поля облучения – верхняя стенка глазницы; нижняя граница – середина пери-

карда; боковые границы поля облучения – границы шеи. Четвертое поле облучения смещено вверх и на 3–4 см влево относительно пациента по сравнению с полем облучения 3. Верхняя граница пятого поля облучения – верхняя челюсть; нижняя граница – верхний край печени и середина желудка; боковые границы поля облучения – боковые поверхности грудной клетки.

На рисунках 1–5 показаны анатомические области и их границы для каждого из 5 полей излучения, смоделированные в программном обеспечении РСХМС 2.0.

Для каждого пациента собирали следующие параметры:

- общие сведения о пациенте:
 - дата рождения/ возраст;
 - антропометрические данные (вес, рост);
- физико-технические параметры проведения интервенционного исследования:
 - толщину и материал дополнительного фильтра (мм Al, мм Cu);
 - значение напряжения на рентгеновской трубке (кВ);
 - произведение дозы на площадь (ПДП, сГу×см²);
- геометрия облучения пациента:
 - положение рентгеновской трубки по отношению к столу (под столом, над столом);
 - проекция облучения (включая угол наклона рентгеновской трубки);
 - размеры поля облучения (см×см);
 - область исследования (грудная клетка, череп и т.п.);
 - расстояние от фокуса рентгеновской трубки до приемника изображения (см).

Координаты центра поля прямого излучения в системе координат программного обеспечения РСХМС 2.0 определяли совместно с рентгенохирургами, привязываясь к расположению органов и тканей, попадавших в поле облучения.

Данные по напряжению на трубке, ПДП и геометрии облучения пациента собирали для каждого этапа и способа облучения (рентгеноскопии и рентгенографии, поле излучения). Для каждого из выбранных полей излучения, представляющих расчетную модель исследования с ее физико-техническими параметрами, с помощью программы РСХМС 2.0 [20] был произведен расчет эффективных и органных доз пациентов, нормированных на единичное значение ПДП_i, т.е. значений КП:

$$КП_i = \frac{E_i}{ПДП_i} \cdot \frac{мкЗв}{сГр \cdot см^2} \quad (1)$$

Поля облучения для исследования «баллонная пластика пищевода» для детей от 1 до 2 лет

Таблица 2

[Table 2

Radiation fields for balloon plastic surgery of the esophagus for children from 1 to 2 years]

Поле [Field]	Проекция [Projection]	Размер поля [Field size]	Координаты центра поля [Coordinates]			Орган [Organ]
			X	Y	Z	
Поле 1 [Field 1]	З-П [PA]	8×20	0	5	25	Пищевод [esophagus]
Поле 2 [Field 2]	З-П [PA]	8×20	-0,1	6	26	Пищевод [esophagus]
Поле 3 [Field 3]	З-П [PA]	10×20	0,1	2	31	Пищевод [esophagus]
Поле 4 [Field 4]	З-П [PA]	10×20	2	-7	33	Пищевод [esophagus]
Поле 5 [Field 5]	З-П [PA]	20×20	0,1	-7	25	Пищевод [esophagus]

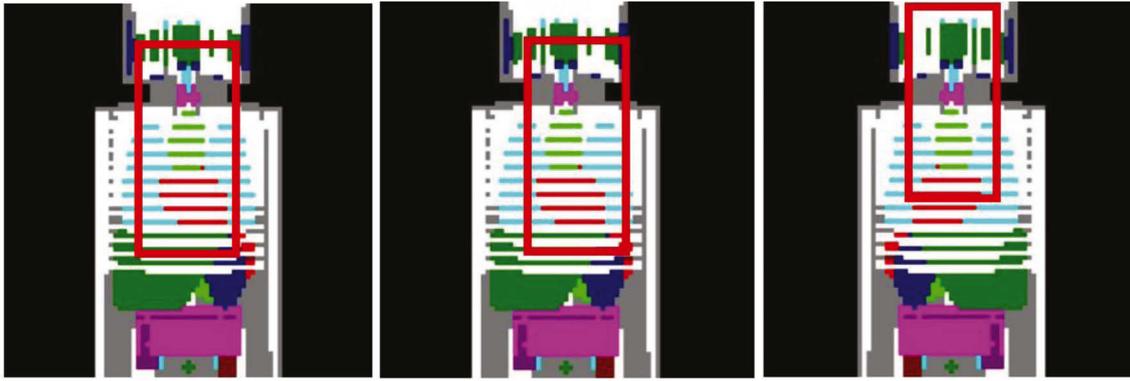


Рис. 1. Поле № 1
[Fig. 1. Field 1]

Рис. 2. Поле № 2
[Fig. 2. Field 2]

Рис. 3. Поле № 3
[Fig. 3. Field 3]

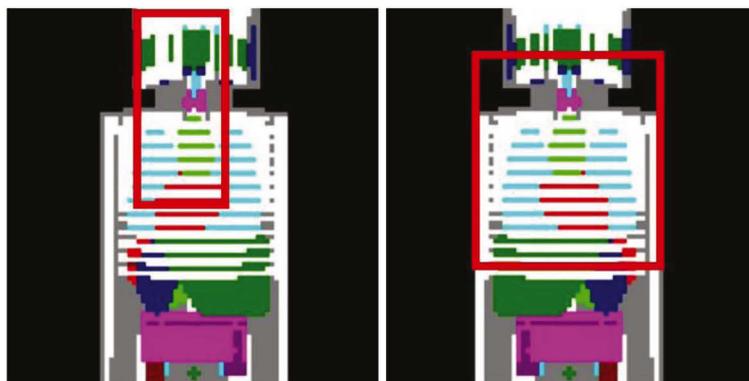


Рис. 4. Поле № 4
[Fig. 4. Field 4]

Рис. 5. Поле № 5
[Fig. 5. Field 5]

где:

KP_i – коэффициент перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для i -го этапа исследования; E_i – эффективная доза за этап рентгеноскопии или рентгенографии, мкЗв; $ПДП_i$ – произведение дозы на площадь для каждого из этапа облучения, сГр \times см 2 .

$$KD_i = \frac{D_i}{ПДП_i} \cdot \frac{\text{мкГр}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}, \quad (2)$$

где:

KD_i – коэффициент перехода от произведения дозы на площадь к органной дозе для i -го этапа исследования; D_i – органная доза за этап рентгеноскопии или рентгенографии, мкГр; $ПДП_i$ – произведение дозы на площадь для каждого из этапа облучения, сГр \times см 2 .

Определение коэффициента перехода для всего исследования осуществлялось с помощью соотношения:

$$KP_{\text{сум}} = \frac{1}{ПДП_{\text{сум}}} \cdot \sum_i ПДП_i \cdot KP_i, \quad \frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2} \quad (3)$$

Таким же образом можно определить коэффициенты перехода от произведения дозы на площадь к органным дозам.

На основании рассчитанных поглощенных доз в радиочувствительных органах и тканях, а также пола и возраста пациента в момент облучения определили пожизненный риск отдаленных стохастических (канцерогенных и наследственных) последствий для здоровья пациента от выбранного исследования с использованием выражения:

$$R(A, G) = \sum_o ПДП \times K \cdot r(A, G, i), \quad (4)$$

где $R(A, G)$ – пожизненный радиационный риск у пациента пола G в возрасте A (лет) от проведения выбранного интервенционного исследования, отн. ед.; $ПДП$ – суммарное произведение дозы на площадь (ПДП) за все этапы и снимки рентгенологического исследования для всех проекций, сГр \times см 2 ; KD_i – коэффициент перехода от произведения дозы на площадь к поглощенной дозе в радиочувствительном органе i , $\frac{\text{мкГр}}{\text{сГр} \times \text{см}^2}$; $r(A, G, i)$ – номинальный коэффициент радиационного риска от облучения органа i у лица пола G в возрасте A (лет), мГр $^{-1}$.

Результаты и обсуждение

Сведения о параметрах проведения баллонной пластики пищевода и значения ПДП для объединенной выборки пациентов представлены в таблице 3 с разделением по выбранным для моделирования полям излучения. Сведения о вкладе каждого из полей излучения в общее ПДП для каждого пациента представлены в таблице 4.

Сведения об эффективных дозах за все исследование и в соответствии с его этапами (полями излучения) представлены в таблице 5 для каждого из пациентов.

На основании значений эффективных доз были определены коэффициенты перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе (табл. 6).

Как видно из таблицы 5, эффективные дозы у детей выбранной возрастной категории за все исследование различаются до порядка величины от 0,3 до 3,9 мЗв. Подобные различия в значениях эффективных доз могут быть связаны со сложностью проведения процедуры,

Таблица 3

Параметры проведения исследований. Данные представлены в формате среднее значение ± среднеквадратическое отклонение (минимум – максимум)

[Table 3]

Parameters of research. The data is presented in the format average value ± standard deviation (minimum – maximum)

Показатель [Index]	Поле 1 [Field 1]	Поле 2 [Field 2]	Поле 3 [Field 3]	Поле 4 [Field 4]	Поле 5 [Field 5]	Все исследование [Total]
Напряжение на трубке, кВ [Tube voltage, kV]	78±2 (77–80)	77±1 (75–77)	77±1 (75–77)	77±0 (77–77)	77±1 (75–80)	77±1 (75–77)
Размер поля, см×см [Field size, cm×cm]	30×30	20×20/30×30	20×20/30×30	30×30	20×20/30×30	20×20/30×30
Размер поля при моделировании в РСХМС 2.0, см×см [Field size in РСХМС 2.0, cm×cm]	8×20	10×20	10×20	8×20	20×20	11,2×20
Расстояние источник – приемник, см [Source to Image Distance, cm]	115±3,1 (109–118)	115±2,5 (113–118)	116±2,3 (113–118)	115±2,3 (113–118)	115±3,8 (108–119)	115±3,4 (108–119)
Общее время рентгеноскопии, с [Total time of X-ray examination, s]	129±54 (61–202)	71±32 (41–116)	127±44 (74–187)	69±71 (23–151)	181±243 (3–847)	350±207 (134–847)
ПДП за просвечивание (непрерывное облучение), сГр×см ² [DAP for irradiation, cGy×cm ²]	14,7±14,8 (0–43)	4,4±7,6 (0–23)	8,8±11,2 (0–26)	2,7±6,2 (0–21)	45,3±68,7 (1–251)	75,3±61,3 (26–252)
ПДП за рентгеновские снимки, сГр×см ² [DAP for x-ray images, cGy×cm ²]	–	–	–	–	33,8±102,0 (0–357)	36,1±102,0 (0–357)
Накопленная доза в коже, мГр [Cumulated dose in the skin, mGy]	–*	–*	–*	–*	–*	8,5±4,7 (2–18)

* – не оценивали в данном исследовании [not evaluated in this study].

Таблица 4

Произведение дозы на площадь и процентный вклад

[Table 4]

Dose area product and percentage contribution

№ пациента [Patient]	ПДП за все исследование, сГр×см ² [Total DAP]	Поле 1 [Field 1]		Поле 2 [Field 2]		Поле 3 [Field 3]		Поле 4 [Field 4]		Поле 5 [Field 5]	
		ПДП, сГр×см ² [DAP, cGy×cm ²]	%	ПДП, сГр×см ² [DAP, cGy×cm ²]	%	ПДП, сГр×см ² [DAP, cGy×cm ²]	%	ПДП, сГр×см ² [DAP, cGy×cm ²]	%	ПДП, сГр×см ² [DAP, cGy×cm ²]	%
1	33	–	–	5	15%	21	64%	–	–	7	21%
2	68	23	34%	23	34%	–	–	–	–	22	32%
3	264	–	–	–	–	–	–	–	–	264	100%
4	61	14	23%	–	–	17	28%	21	34%	9	15%
5	87	43	49%	14	16%	18	21%	–	–	12	14%
6	83	–	–	–	–	–	–	–	–	84	100%
7	47	–	–	–	–	–	–	–	–	47	100%
8	75	19	25%	–	–	24	32%	6	8%	26	35%
9	383	–	–	–	–	–	–	–	–	383	100%
10	79	26	33%	11	14%	26	33%	5	6%	11	14%
11	32	19	59%	–	–	–	–	–	–	13	41%
Среднее±СКО* [average value ± SD]	110,0±110,0	24,0±10,2	37,2±14,1	13,3±7,5	19,8±9,5	21,2±3,8	35,6±16,6	10,7±8,9	16,0±15,6	79,8±125,0	52,0±39,0
Медиана [Median]	75,0	21,0	33,5	12,5	15,5	21,0	32,0	6,0	8,0	22,0	35,0

* СКО – среднеквадратическое отклонение [SD – standard deviation].

Таблица 5

Эффективные дозы и процентный вклад

[Table 5]

Effective doses and percentage contribution

№ пациен-та [Patient]	ЭД за все исследование, мЗв [Total E, mSv]	Поле 1 [Field 1]		Поле 2 [Field 2]		Поле 3 [Field 3]		Поле 4 [Field 4]		Поле 5 [Field 5]	
		ЭД, мЗв [E, mSv]	%	ЭД, мЗв [E, mSv]	%	ЭД, мЗв [E, mSv]	%	ЭД, мЗв [E, mSv]	%	ЭД, мЗв [E, mSv]	%
1	0,32	-	-	0,06	22%	0,17	53%	-	-	0,08	25%
2	0,69	0,27	39%	0,19	28%	-	-	-	-	0,23	33%
3	2,49	-	-	-	-	-	-	-	-	2,49	100%
4	0,54	0,16	31%	-	-	0,15	29%	0,13	24%	0,08	16%
5	1,09	0,60	55%	0,13	12%	0,19	18%	-	-	0,16	15%
6	1,05	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05	100%
7	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	100%
8	0,86	0,25	29%	-	-	0,25	30%	0,05	6%	0,30	35%
9	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	3,92	100%
10	0,83	0,36	43%	0,12	15%	0,22	26%	0,03	4%	0,10	12%
11	0,35	0,24	69%	-	-	-	-	-	-	0,11	31%
Среднее [average value]	1,2±1,1	0,3±0,2	44,3±15,3	0,1±0,1	19,3±7,2	0,2±0,04	31,2±13,1	0,07±0,1	11,3±11,0	0,8±1,3	51,5±39,1
Медиана [Median]	0,8	0,3	41,0	0,1	18,5	0,2	29,0	0,05	6,0	0,2	33,0

Таблица 6

Коэффициенты перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе

[Table 6]

The conversion coefficients from the dose area product to the effective dose

Пациент [Patient]	МКРЗ 60 [ICRP 60]		МКРЗ 103 [ICRP 103]	
	ЭД, мЗв [E, mSv]	КП _{сум} (от ПДП к ЭД), мкЗв/(сГр × см²) [The conversion coefficients, μSv/cGy×cm²]	ЭД, мЗв [E, mSv]	КП _{сум} (от ПДП к ЭД), мкЗв/(сГр × см²) [The conversion coefficients, μSv/cGy×cm²]
1	0,32	9,7	0,35	10,7
2	0,69	10,2	0,74	10,9
3	2,49	9,5	2,77	10,4
4	0,54	8,9	0,60	9,9
5	1,09	12,6	1,20	13,8
6	1,05	12,6	1,17	14,0
7	0,50	10,7	0,56	12,0
8	0,86	11,5	0,95	12,7
9	3,92	10,2	4,37	11,4
10	0,83	10,6	0,89	11,3
11	0,35	11,0	0,37	11,8
Среднее [average value]	1,15±1,1	10,7±1,2	1,27±1,2	11,7±1,3

спецификой и тяжестью заболевания, а также с анатомическими особенностями отдельных пациентов. Тем не менее, значения коэффициентов перехода КП_{сум} в выборке пациентов варьируют всего лишь со среднеквадратическим отклонением (СКО) ~10%, несмотря на то, что у половины пациентов при проведении исследования исполь-

зовали лишь 1–2 поля излучения, и только у 1 из пациентов использовали все 5 полей излучения. Это говорит о том, что различия в индивидуальных значениях КП_{сум} в рамках одного вида исследования, проводимого на определенном аппарате, невелики. Действительно, эмпирическое среднее значение среди всех парциальных значений КП_{сум}

оказалось равным: $\overline{KП} = \frac{\sum_{i=1}^{31} KП_i}{31} = 10.3 \pm 2.1$ (СКО), мкЗв/(сГр см²). Это всего лишь на 3% меньше, чем среднее значение в выборке значений КП_{сум} для отдельных пациентов, хотя СКО в этом случае в 2 раза выше. Более того, необходимо отметить, что у всех пациентов в исследовании присутствовала проекция с полем излучения № 5, согласно таблице 4, а у 4 пациентов все исследование состояло из этой единственной проекции. Поэтому можно сделать вывод об особой значимости этой проекции в данном типе исследования и выбрать ее в качестве репрезентативной для исследования в целом. Среднее значение КП₅ для этой проекции для всей выборки пациентов составило 10,6±1,5 мкЗв/(сГр см²), что практически совпадает со средним значением в выборке значений КП_{сум} для отдельных пациентов для всего исследования (10,7±1,2 мкЗв/(сГр см²)).

С учетом этих данных была предложена упрощенная расчетная модель облучения пациентов при выполнении баллонной пластики пищевода детям от 1 до 2 лет, которая описывается 1 полем облучения (табл. 7). Верхняя граница поля облучения – верхняя челюсть; нижняя граница поля облучения – верхний край печени и середина желудка; боковые границы поля облучения – боковые поверхности грудной клетки.

Для упрощенной модели также были рассчитаны значения эффективных доз у всех пациентов. При сравнении значений эффективных доз, полученных при моделировании несколькими полями и одним полем облучения, относительные различия находились в пределах от -16% до 20% (табл. 8). Столь небольшая разница позволяет использовать в данном медицинском учреждении для оценки эффективных доз при проведении баллонной пластики пищевода детям от 1 до 2 лет упрощенную расчетную модель облучения, которая описывается 1 полем облучения и 1 КП = 10,6 мкЗв/(сГр см²). Наличие как детальной, так и упрощенной моделей позволяет использовать дифференцированный подход к оценке доз облучения пациентов.

В связи с отсутствием до настоящего времени отдельного коэффициента перехода для расчета эффективной дозы у детей при проведении баллонной пластики пи-

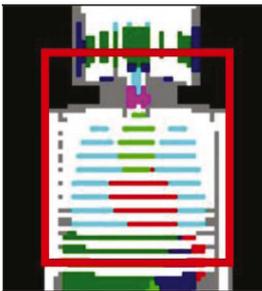
щевода сотрудники отделения использовали коэффициент перехода, соответствующий рентгенографии органов грудной клетки для данной возрастной группы (МУ 2.6.1.3584-19. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований). Различия в значениях коэффициентов перехода значительны (5,8 и 10,7 мкЗв/(сГр см²)) и объясняются разницей в значениях напряжения на трубке, расстояниях источник – приемник и размерах поля излучения при проведении этих 2 исследований. Эффективные дозы у детей недооценивались практически в 2 раза.

Таблица 8
Значения эффективных доз, полученных с использованием разных моделей облучения
[Table 8
Effective doses using different irradiation models]

№ пациента [Patient]	ЭД, мЗв [E, mSv]	
	многополюсная модель [multi – field model]	однопольная модель [single – field model]
1	0,32	0,35
2	0,69	0,72
3	2,49	2,80
4	0,54	0,65
5	1,09	0,92
6	1,05	0,88
7	0,50	0,50
8	0,86	0,80
9	3,92	4,06
10	0,83	0,84
11	0,35	0,34

Представленные в таблице 8 коэффициенты перехода могут быть использованы для оценки эффективных доз для детей 1–2 лет, проходящих баллонную пластику пищевода в Санкт-Петербургском государственном педиатрическом медицинском университете.

Таблица 7
Упрощенная модель облучения
[Table 7
Simplified irradiation model]

Поле [Field]	Координаты [Coordinates]			Размер поля [Field size]	Проекция [Projection]	Орган [Organ]	Ориентиры [Landmarks]
	X	Y	Z				
Поле 1 [Field 1]	0	6	25	20×20	З-П [PA]	Пищевод [esophagus]	

В том случае, если протокол проведения баллонной пластики пищевода у отдельных пациентов будет существенно отличаться по структуре исследования и/или параметрам проведения исследования более чем на 10–15%, то для таких пациентов целесообразно разработать другую модель облучения с действующими параметрами по схеме, представленной в данной работе.

Расчетные значения риска для детей в возрасте 0–4 года при проведении интервенционного исследования «Баллонная пластика пищевода» согласно МР 2.6.1.0215-20 (Приложение 3) составили от 2×10^{-5} до 2×10^{-4} для мальчиков и от 7×10^{-5} до 9×10^{-4} для девочек, что соответствует категориям «очень низкого» и «низкого» рисков.

Заключение

Интервенционные исследования являются чрезвычайно интересными и перспективными с точки зрения совершенствования подходов к дозиметрии пациентов.

Результаты верификации метода оценки эффективных доз для интервенционных исследований на примере баллонной пластики пищевода для детей в возрасте от 1 до 2 лет показали, что использование несоответствующих коэффициентов перехода может приводить к недооценке эффективных доз детей в несколько раз.

В настоящей работе представлен детальный подход к оценке уровней облучения и радиационных рисков пациентов при проведении баллонной пластики пищевода. Оценка эффективных доз с использованием многопольной и однопольной модели облучения на примере баллонной пластики пищевода у детей в возрасте от 1 до 2 лет, проводимых на 1 аппарате конкретными врачами, показывает сопоставимые результаты, что в данном случае позволяет использовать упрощенную (однопольную) модель облучения. Выбор между многопольной и однопольной моделями возможен только после анализа полученных данных и разработки многопольной модели.

Наличие моделей облучения для данного исследования может быть использовано в качестве прототипа для получения подобных моделей в других медицинских организациях (отделениях) при выполнении однотипных исследований. Аналогичные исследования должны быть выполнены для разных возрастных групп и видов интервенционных исследований с использованием следующей методики:

1. Разработка моделей облучения пациентов для каждого вида интервенционного исследования на основе данных о структуре исследования, анатомических полях, проекциях облучения, о перемещении рентгеновской трубки во время исследования.

2. Подготовка модели в программном обеспечении (например, РСХМС 2.0.).

3. Сбор необходимых параметров проведения интервенционных исследований для каждого этапа рентгеноскопии и рентгенографии для расчета эффективных и органических доз пациентов.

4. Определение органических и эффективных доз пациентов для каждой анатомической области с помощью специализированного программного обеспечения РСХМС 2.0.

5. Расчет суммарных эффективных и поглощенных доз за все интервенционное исследование на основе произведения дозы на площадь с учетом геометрии облуче-

ния пациента и физико-технических характеристик пучка рентгеновского излучения.

6. Определение пожизненного риска отдаленных стохастических последствий для здоровья пациента от выбранного интервенционного исследования на основании полученных поглощенных доз в радиочувствительных органах и тканях с учетом пола и возраста пациента в момент облучения.

7. Подготовка упрощенных моделей облучения (с сокращенным числом полей), если это возможно.

8. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе и от произведения дозы на площадь к поглощенной дозе в органах и тканях.

9. Расчет коэффициентов перехода для всего диапазона используемых режимов проведения. В качестве основного параметра, оказывающего максимальное влияние, принимаем анодное напряжение (диапазон 50–120 kV, с шагом 5 kV), толщину фильтра рентгеновского аппарата (Al, Cu), размер поля (10×10 – 40×40 , с шагом 5 см по длине и ширине).

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Капырина Ю.Н. – разработала дизайн исследования, участвовала в проведении сбора данных, разработка моделей, описание результатов, написала черновик рукописи и представила окончательный вариант для публикации в журнале.

Водоватов А.В. – помощь в обработке данных, помощь при проработке и редактировании статьи.

Пузырев В.Г. – осуществлял общее руководство исследованием, редактировал промежуточный вариант рукописи.

Комиссаров М.И. – сбор и регистрация данных, подготовка проекта статьи.

Алешин И.Ю. – сбор и регистрация данных, подготовка проекта статьи.

Голиков В.Ю. – помощь в обработке данных, помощь при проработке и редактировании статьи.

Орел В.И. – осуществлял общее руководство исследованием, редактировал промежуточный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. ICRP Publication 117. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department // Annals of the ICRP. 2010. Vol. 40, No 6. P. 1-102.
2. Scientific annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation The UNSCEAR 2020/2021 Report Volume I to the General Assembly (A/76/46). Официальный сайт НКДАР ООН. URL: https://css.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/UNSCEAR_2020_21_Annex-A.pdf (Дата обращения: 15.06.2023).
3. ISO/IEC 17025:2017(E) General requirements for the competence of testing and calibration laboratories; 2017.
4. EC. Radiation Protection no 180 Medical radiation exposure of the European population, Part 1/2, EU, 2014.
5. Ubada C., Vano E., Miranda P., Figueroa X. Organ and effective doses detriment to paediatric patients undergoing multiple interventional cardiology procedures // Medical Physics. 2019. Vol. 60. P. 182-187. doi: 10.1016/j.ejmp.2019.03.020.

6. Schegerer A., Loose R., Heuser L.J., Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling // *Rofo*. 2019. Vol. 191, No 8. P. 739-751. (English, German) doi: 10.1055/a-0824-7603.
7. Barnaoui S., Rehel J.L., Baysson H. et al. Local reference levels and organ doses from pediatric cardiac interventional procedures // *Pediatric Cardiology*. 2014. Vol. 35, No 6. P. 1037-45. doi: 10.1007/s00246-014-0895-5.
8. Walsh M.A., Noga M., Rutledge J. Cumulative radiation exposure in pediatric patients with congenital heart disease – Is detailed examination data critical to dose estimates? // *Pediatric Cardiology*. 2015. Vol. 36, No 2. P. 289-94. doi: 10.1007/s00246-014-0999-y.
9. Karambatsakidou A., Omar A., Fransson A., Poludniowski G. Calculating organ and effective doses in paediatric interventional cardiac radiology based on DICOM structured reports – Is detailed examination data critical to dose estimates? // *Medical Physics*. 2019. No 57. P. 17-24. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.12.008.
10. Lai P., McNeil S.M., Gordon C.L., Connolly B.L. Effective doses in children: association with common complex imaging techniques used during interventional radiology procedures // *American Journal of Roentgenology*. 2014. Vol. 203, No 6. P. 1336-44. doi: 10.2214/AJR.13.11445.
11. Orbach D.B., Stamoulis C., Strauss K.J. et al. Neurointerventions in children: radiation exposure and its import // *American Journal of Neuroradiology*. 2014. Vol. 35, No 4. P. 650-6. doi: 10.3174/ajnr.A3758.
12. Ploussi A., Brountzos E., Rammos S. et al. Radiation Exposure in Pediatric Interventional Procedures // *Cardiovascular and Interventional Radiology*. 2021. Vol. 44, No 6. P. 857-865. doi: 10.1007/s00270-020-02752-7.
13. Rizk C., Fares G., Vanhavere F. et al. Diagnostic Reference Levels, Deterministic and Stochastic Risks in Pediatric Interventional Cardiology Procedures // *Health Physics*. 2020. Vol. 118, No 1. P. 85-95. doi: 10.1097/HP.0000000000001114.
14. Ubeda C., Miranda P., Vano E. et al. Organ and effective doses from paediatric interventional cardiology procedures in Chile // *Medical Physics*. 2017. No 40. P. 95-103. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.07.015.
15. Lee C., Yeom Y.S., Shin J. et al. NCIRF: an organ dose calculator for patients undergoing radiography and fluoroscopy // *Biomedical Physics and Engineering Express*. 2023. Vol. 9, No 4. doi: 10.1088/2057-1976/acd2de.
16. Omar A., Bujila R., Fransson A. et al. A framework for organ dose estimation in x-ray angiography and interventional radiology based on dose-related data in DICOM structured reports // *Physics in Medicine & Biology*. 2016. No 61. P. 3063 – 3083.
17. Wildgruber M., Müller-Wille R., Goessmann H. et al. Direct Effective Dose Calculations in Pediatric Fluoroscopy-Guided Abdominal Interventions with Rando-Alderson Phantoms – Optimization of Preset Parameter Settings // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, No 8. P. e0161806. doi: 10.1371/journal.pone.0161806.
18. Водоватов А.В., Голиков В.Ю., Камышанская И.Г. и др. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов // *Радиационная гигиена*. 2018. Т. 11, № 1. С. 93-100. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100>.
19. Vodovatov A., Golikov V., Kamyshanskaya I. et al. Estimation of the effective doses from typical fluoroscopic examinations with barium contrast // *Radiation Protection Dosimetry*. 2021. Vol. 195, No 3-4. P. 264-272. doi: 10.1093/rpd/ncab059.
20. Тупыленко А.В., Олдаковский В.И., Лохматов М.М., Будкина Т.Н. Пат. № 2768600 С1 Российская Федерация, МПК А61В 17/94. Способ баллонной дилатации стриктур пищевода у детей с дистрофической формой врожденного буллезного эпидермолиза. опубл. 24.03.2022.
21. Дмитриев Е.Г., Михайлова Н.В. Доброкачественные стриктуры пищевода и выходного отдела желудка: интервенционное ведение (обзор по материалам зарубежной печати) // *Хирургическая практика*. 2011. № 4. С. 28-34.
22. Бойко В.В., Авдосьев Ю.В., Сизый М.Ю. Лечебно-диагностическая баллонная дилатация протяженных послеожоговых стриктур пищевода // *Вестник ХНУ им. В.Н. Каразина. Серия Медицина*. 2005. №10 (658). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lechebno-diagnosticheskaya-ballonnaya-dilatatsiya-protyazhennyh-posleozhogovyh-strikturn-pischevoda> (Дата обращения: 06.08.2023).
23. Kim K.Y., Tsauo J., Song H.Y. et al. Fluoroscopy-guided balloon dilation in patients with Eustachian tube dysfunction // *European Radiology*. 2018. Vol. 28, No 3. P. 910-919. doi: 10.1007/s00330-017-5040-4.
24. Fan Y., Song H.Y., Kim J.H. et al. Fluoroscopically guided balloon dilation of benign esophageal strictures: incidence of esophageal rupture and its management in 589 patients // *American Journal of Roentgenology*. 2011. Vol. 197, No 6. P. 1481-6. doi: 10.2214/AJR.11.6591.
25. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. 2nd Ed. STUK, Finalnd; 2008.

Поступила: 16.07.2023 г.

Капырина Юлия Николаевна – ассистент кафедры общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. **Адрес для переписки:** 194100, Россия, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; E-mail: kapirina-yuliya@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1018-5200>

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Пузырев Виктор Геннадьевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0185-3545>

Комиссаров Михаил Игоревич – кандидат медицинских наук, доцент кафедры хирургических болезней детского возраста им. Г.А. Баирова, врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению микрохирургического отделения, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4788-7561>

Алешин Иван Юрьевич – кандидат медицинских наук, врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению микрохирургического отделения, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1043-8503>

Голиков Владислав Юрьевич – старший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций, 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

Орел Василий Иванович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой социальной педиатрии и организации здравоохранения ФП и ДПО, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6098-3449>

Для цитирования: Капырина Ю.Н., Водоватов А.В., Пузырев В.Г., Комиссаров М.И., Алешин И.Ю., Голиков В.Ю., Орел В.И. Оценка эффективных доз при проведении баллонной пластики пищевода у детей // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 4. С. 32-43. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-4-32-43

Assessment of effective doses for fluoroscopy-guided balloon dilatation of benign esophageal strictures in pediatric medicine

Yuliya N. Kapryrina¹, Aleksandr V. Vodovатов^{1,2}, Victor G. Puzyrev¹, Mikhail I. Komissarov¹, Ivan Yu. Aleshin¹, Vladislav Yu. Golikov², Vasily I. Orel¹

¹ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

Interventional examinations are associated with high levels of patient exposure per examination, which makes it particularly important to monitor individual patient doses and to assess radiation risks. The aim of this study was the assessment of effective doses for fluoroscopy-guided balloon dilatation of benign esophageal strictures, which was performed on pediatric patients aged 1 to 2 years at the Department of Radiosurgical Methods of Diagnosis and Treatment of St. Petersburg State Pediatric Medical University. Patient exposure patterns were based on our own data collection. The calculation of effective and organ doses of patients normalized by the value of the dose area product measured during the study was carried out using PCXMC 2.0 software. The conversion coefficients from the dose area product to the effective dose were calculated using tissue weighting coefficients from the ICRP Publications 60 and 103 their values were 10.7 and 11.7 $\mu\text{Sv}/\text{cGy cm}^2$, respectively. The results of verification of the method indicated that the use of inappropriate conversion coefficients leads to an almost double underestimation of children's effective doses. Differences in the values of conversion coefficients are significant and are explained by differences in voltage, source to image distance, and irradiation field size. A simplified model of patient exposure was proposed, which is described by a single irradiation field. The assessment of effective doses using multi-field and single-field irradiation model shows comparable results, which allows using the differentiated approach to the assessment of radiation doses of patients.

Key words: *effective dose, conversion coefficients, interventional examinations, children, medical exposure.*

Yuliya N. Kapryrina

Saint-Petersburg State Pediatric Medical University

Address for correspondence: Litovskaya Str., 2, Saint-Petersburg, Russia, 194100; E-mail: kapirina-yuliya@yandex.ru

Personal contribution of authors

Kapyrina Yu.N. – developed the design of the study, participated in data collection, model development, description of the results, wrote a draft of the manuscript and submitted the final version for publication in the journal.

Vodovatov A.V. – assistance in data processing, assistance in elaboration and editing of the article.

Puzyrev V.G. – carried out the general management of the study, edited the intermediate version of the manuscript.

Komissarov M.I. – data collection and registration, preparation of the draft article.

Aleshin I.Yu. – data collection and registration, preparation of the draft article.

Golikov V.Yu. – assistance in data processing, assistance in elaboration and editing of the article.

Orel V.I. – carried out the general management of the study, edited the intermediate version of the manuscript.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

References

- ICRP Publication 117. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. *Ann ICRP*. 2010 Dec;40(6): 1-102.
- Scientific annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation The UNSCEAR 2020/2021 Report Volume I to the General Assembly (A/76/46). Official site UN SCEAR. Available from: https://css.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/UNSCEAR_2020_21_Annex-A.pdf (Accessed: 15.06.2023).
- ISO/IEC 17025:2017(E) General requirements for the competence of testing and calibration laboratories; 2017.
- EC. Radiation Protection no 180 Medical radiation exposure of the European population, Part , EU; 2014.
- Ubeda C, Vano E, Miranda P, Figueroa X. Organ and effective doses detriment to paediatric patients undergoing multiple interventional cardiology procedures. *Medical Physics*. 2019;60: 182-187. doi: 10.1016/j.ejmp.2019.03.020.
- Schegegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Rofo*. 2019;191(8): 739-751 (English, German) doi: 10.1055/a-0824-7603.
- Barnaoui S, Rehel JL, Baysson H, Boudjemline Y, Girodon B, Bernier MO, et al. Local reference levels and organ doses from pediatric cardiac interventional procedures. *Pediatric Cardiology*. 2014;35(6): 1037-45. doi: 10.1007/s00246-014-0895-5.
- Walsh MA, Noga M, Rutledge J. Cumulative radiation exposure in pediatric patients with congenital heart disease. *Pediatric Cardiology*. 2015;36(2): 289-94. doi: 10.1007/s00246-014-0999-y.
- Karambatsakidou A, Omar A, Fransson A, Poludniowski G. Calculating organ and effective doses in paediatric interventional cardiac radiology based on DICOM structured reports – Is detailed examination data critical to dose estimates? *Medical Physics*. 2019;57: 17-24. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.12.008.
- Lai P, McNeil SM, Gordon CL, Connolly BL. Effective doses in children: association with common complex imaging techniques used during interventional radiology procedures. *American Journal of Roentgenology*. 2014;203(6): 1336-44. doi: 10.2214/AJR.13.11445.
- Orbach DB, Stamoulis C, Strauss KJ, Manchester J, Smith ER, Scott RM, Lin N. Neurointerventions in children: radiation exposure and its import. *American Journal of Neuroradiology*. 2014;35(4): 650-6. doi: 10.3174/ajnr.A3758.
- Ploussi A, Brountzos E, Rammos S, Apostolopoulou S, Efsthopoulos EP. Radiation Exposure in Pediatric Interventional Procedures. *Cardiovascular and Interventional Radiology*. 2021;44(6): 857-865. doi: 10.1007/s00270-020-02752-7.
- Rizk C, Fares G, Vanhavere F, Saliba Z, Farah J. Diagnostic Reference Levels, Deterministic and Stochastic Risks in Pediatric Interventional Cardiology Procedures. *Health Physics*. 2020;118(1): 85-95. doi: 10.1097/HP.0000000000001114.
- Ubeda C, Miranda P, Vano E, Nocetti D, Manterola C. Organ and effective doses from paediatric interventional cardiology procedures in Chile. *Medical Physics*. 2017;40: 95-103. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.07.015.
- Lee C, Yeom YS, Shin J, Streitmatter SW, Kitahara CM. NCIRF: an organ dose calculator for patients undergoing radiography and fluoroscopy. *Biomedical Physics and Engineering Express*. 2023;9(4). doi: 10.1088/2057-1976/acd2de.
- Omar A, Bujila R, Fransson A, Andreo P, Poludniowski GG. A framework for organ dose estimation in x-ray angiography and interventional radiology based on dose-related data in DICOM structured reports. *Physics in Medicine & Biology*. 2016;61: 3063 – 3083.
- Wildgruber M, Müller-Wille R, Goessmann H, Uller W, Wohlgemuth WA. Direct Effective Dose Calculations in Pediatric Fluoroscopy-Guided Abdominal Interventions with Rando-Alderson Phantoms – Optimization of Preset Parameter Settings. *PLoS One*. 2016;11(8): e0161806. doi: 10.1371/journal.pone.0161806.
- Vodovatov AV, Golikov VYu, Kamyshanskaya IG, Zinkevich KV, Bernhardsson C. Estimation of the conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(1): 93-100. (In Russian).
- Vodovatov A, Golikov V, Kamyshanskaya I, Cheremysin V, Zinkevich K, Bernhardsson C. Estimation of the effective doses from typical fluoroscopic examinations with barium contrast. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021;195(3-4): 264-272. doi: 10.1093/rpd/ncab059.
- Tupulyenko AV, Oldakovskiy VI, Lokhmatov MM, Budkina TN. Pat. № 2768600 C1 Russian Federation, МПК А61В 17/94. Method for balloon dilatation of esophageal strictures in children with dystrophic form of congenital epidermolysis bullosa. Published 24.03.2022. (In Russian).
- Dmitriev EG, Mikhailova NV. Benign strictures of the esophagus and gastric outlet: interventional management (review based on foreign press materials). *Khirurgicheskaya praktika = Surgical practice*. 2011;4: 28-34. (In Russian).
- Boyko VV, Avdosiev YuV, Sizyy MYu. Therapeutic and diagnostic balloon dilatation of extended post-burn strictures of the esophagus. *Vestnik KhNU im. V.N. Karazina. Seriya Meditsina = Vestnik KhNU im. V.N. Karazin. Medicine Series*. 2005;10(658). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/lechebno-dagnosticheskaya-ballonnaya-dilatatsiya-protyazhennyh-posleozhogovyh-striktur-pischevoda> (Accessed: 06.08.2023). (In Russian).
- Kim KY, Tsauo J, Song HY, Park HJ, Kang WS, Park JH, et al. Fluoroscopy-guided balloon dilation in patients with Eustachian tube dysfunction. *European Radiology*. 2018;28(3): 910-919. doi: 10.1007/s00330-017-5040-4.
- Fan Y, Song HY, Kim JH, Park JH, Ponnuswamy I, Jung HY, et al. Fluoroscopically guided balloon dilation of benign esophageal strictures: incidence of esophageal rupture and its management in 589 patients. *American Journal of Roentgenology*. 2011;197(6): 1481-6. doi: 10.2214/AJR.11.6591.
- Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. 2nd Ed. STUK, FinalInd; 2008.

Received: July 16, 2023

For correspondence: Yuliya N. Kapirina – the Assistant of the Department of General Hygiene, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University (Litovskaya Str., 2, Saint-Petersburg, Russia, 194100; E-mail: kapirina-yuliya@yandex.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1018-5200>

Aleksandr V. Vodovatov – PhD, lead research fellow, Head of the Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, docent of the Department of General Hygiene, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Viktor G. Puzyrev – MD, Ph.D., Assistant Professor, the Head of the Department of General Hygiene, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0185-3545>

Mikhail I. Komissarov – MD, Ph.D., Assistant Professor, Department of Surgical Diseases of Childhood named after G.A. Bairov, doctor for X-ray endovascular diagnostics and treatment of the microsurgical department, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4788-7561>

Ivan Yu. Aleshin – MD, Ph.D., doctor for X-ray endovascular diagnostics and treatment of the microsurgical department, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1043-8503>

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, Saint-Petersburg, Russia

Vasily I. Orel – MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head. Department of Social Pediatrics and Public Health Organization and AF and DPO, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6098-3449>

For citation: Kapirina Yu.N., Vodovatov A.V., Puzyrev V.G., Komissarov M.I., Aleshin I.Yu., Golikov V.Yu., Orel V.I. Assessment of effective doses for fluoroscopy-guided balloon dilatation of benign esophageal strictures in pediatric medicine. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 4. P. 32-43. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-4-32-43