

И.Г. Шацкий¹, П.С. Дружинина¹, Ю.Н. Капырина², М.В. Осипов³

ЭФФЕКТИВНЫЕ ДОЗЫ ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. профессора П.В. Рамзаева Роспотребнадзора, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Минздрава РФ, Санкт-Петербург

³ Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерск

Контактное лицо: Полина Сергеевна Дружинина, e-mail: druzhininapauline@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ:

Методы лучевой диагностики получили широкое распространение не только для диагностики взрослых пациентов, но и детей. Дети являются самой радиочувствительной группой населения, которая имеет более высокий риск развития отдаленных эффектов воздействия ионизирующего излучения по сравнению со взрослыми. Поэтому контроль уровней облучения педиатрических пациентов имеет приоритетное значение. На сегодняшний день в зарубежных странах вопросам радиационной безопасности детей посвящено большое количество публикаций. В Российской Федерации данные вопросы рассмотрены недостаточно. В работе были проанализированы зарубежные и отечественные публикации, посвященные уровням облучения детей при проведении рентгенографических, интервенционных и компьютерно-томографических исследований (далее – КТ-исследований). В первую очередь рассматривались публикации, содержавшие количественную характеристику уровней облучения по величине эффективной дозы (далее – ЭД). Значения эффективных доз, представленных в публикациях, были пересчитаны в соответствии с делением возрастных групп, принятым в Российской Федерации для удобства сравнения значений между собой: 0–0,5; 0,5–3; 3–8; 8–13; 13–18 лет. В статье представлены средние взвешенные эффективные дозы для детей всех возрастных групп для разных видов рентгенографических, интервенционных и КТ-исследований. По данным литературных источников в Российской Федерации средние взвешенные эффективные дозы детей в среднем для всех видов лучевой диагностики ниже, чем в зарубежных странах. Для обеспечения радиационной защиты детей в Российской Федерации при проведении рентгенографических, интервенционных и КТ-исследований, необходимо повышать достоверность информации об уровнях облучения детей, путем совершенствования систем сбора данных, контроля и учета индивидуальных доз, повышения уровня осведомленности специалистов.

Ключевые слова: дети, эффективные дозы, рентгенодиагностика, рентгенографические исследования, КТ-исследования, интервенционная радиология

Для цитирования: Шацкий И.Г., Дружинина П.С., Капырина Ю.Н., Осипов М.В. Эффективные дозы детей при проведении рентгенодиагностических исследований: литературный обзор // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68. № 6. С. 27–41. DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-6-27-41

I.G. Shatskiy¹, P.S. Druzhinina¹, Yu.N. Kapryrina², M.V. Osipov³

Effective Doses of Children During X-Ray Diagnostic Examinations: A Literary Review

¹ P.V. Ramzaev Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene, Saint-Petersburg, Russia

² St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

³ Southern Urals Biophysics Institute, Ozersk, Russia

Contact person: Polina Sergeevna Druzhinina, e-mail: druzhininapauline@gmail.com

CONTENTS:

Radiation diagnostics methods are widely used not only for the diagnosis of adult patients, but also in pediatrics. Children are the most radiosensitive group of the population, with a higher risk of developing long-term effects of ionizing radiation than adults. Therefore, control of exposure levels of pediatric patients is a priority. Nowadays, many publications have been devoted to the issues of radiation safety of children in foreign countries. There is no reliable information of diagnostic exposure levels of children in the Russian Federation. In domestic publications, these issues are considered insufficiently. Foreign and domestic publications of children exposure levels during X-ray, interventional and computed tomography examinations (CT-examinations) were analyzed. First of all, publications containing a quantitative characteristic of exposure levels in terms of effective dose (ED) were considered. Effective doses presented in the publications were recalculated in accordance with the division of age groups adopted in the Russian Federation for the convenience of comparing the values with each other: 0–0.5; 0.5–3; 3–8; 8–13; 13–18 years old. This study presents the average of weighted effective doses for children of all age groups for different types of radiography, interventional and CT-examinations. According to publications the average weighted effective doses of children on average for all types of X-ray diagnostics are lower in the Russian Federation than in foreign countries. To ensure the radiation protection of children in the Russian Federation during radiography, interventional and CT-examinations, it is necessary to increase the reliability of information of children exposure levels, by improving the systems for collecting data, monitoring and accounting of individual patient doses, and raising the level of awareness of specialists.

Keywords: *children, effective doses, X-ray diagnostic examinations, radiography, CT, interventional radiology*

For citation: Shatskiy IG, Druzhinina PS, Kapyrina YuN, Osipov MV. Effective Doses of Children During X-Ray Diagnostic Examinations: A Literary Review. Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68(6):27–41. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-6-27-41

Введение

Методы лучевой диагностики получили широкое распространение не только при исследовании взрослых пациентов, но и детей, за счет высокой информативности получаемой диагностической информации, отсутствия инвазивного вмешательства (исключение – интервенционно-радиологические процедуры) и высокой скорости проведения исследований. При этом, все виды лучевой диагностики сопровождаются воздействием ионизирующего излучения на пациента, уровень которого может значительно варьировать в зависимости от вида исследования.

Так как дети являются самой радиочувствительной группой населения, имеющей более высокий риск развития отдаленных эффектов воздействия ионизирующего излучения по сравнению со взрослыми^{1, 2} [1–4], то контроль уровней облучения педиатрических пациентов имеет приоритетное значение. В зарубежных странах вопросам радиационной безопасности детей при проведении рентгенорадиологических исследований посвящено большое количество руководств, учебных пособий и публикаций [2, 3, 5]. Кроме того, проводятся крупные эпидемиологические исследования, посвященные влиянию ионизирующего излучения на детский организм [6–15]. В Российской Федерации на сегодняшний день проблема является недостаточно проработанной, а научные работы, в основном, ограничиваются небольшими локальными исследованиями на уровне отдельных медицинских учреждений, отделений. Публикации, посвященные непосредственно исследованию уровней облучения и радиационной безопасности детей, практически отсутствуют [16–19]. Единственными литературными источниками, из которых косвенно можно выделить информацию о дозах педиатрических пациентов, являются публикации врачей-рентгенологов, посвященные обзору конкретных диагностических случаев отдельных пациентов.

На сегодняшний день в Российской Федерации основным источником информации об уровнях облучения пациентов является форма государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ системы ЕСКИД³. Следует отметить, что данная форма была переработана и с ноября 2022 г. действует ее новый вариант, который, в числе прочих изменений, подразумевает разделение пациентов отдельно на взрослых и детей.

До 2022 г. в форме № 3-ДОЗ дети в отдельную группу не выделялись. Единственным возможным вариантом получения информации о дозах детей был анализ формы

№ 3-ДОЗ на уровне отдельных детских медицинских организаций. Однако в этом случае достоверность информации была низкой, вследствие отсутствия разделения пациентов по возрастам, большого количества ошибок, допускаемых при заполнении формы, а также отсутствия возможности исключения взрослых пациентов (в случае если педиатрическая медицинская организация дополнительно оказывает услуги для взрослых пациентов).

Цель работы: Сбор и сравнительный анализ данных об уровнях облучения детей из отечественных и зарубежных литературных источников.

Материал и методы

В работе были проанализированы отечественные и зарубежные научные публикации [16–55], содержащие информацию об уровнях облучения педиатрических пациентов при проведении наиболее распространенных рентгенографических, интервенционно-радиологических и компьютерно-томографических исследованиях (далее – КТ-исследованиях).

Стратегия поиска литературы

Первоначально обзор статей проводился с использованием ключевых слов «эффективные дозы облучения детей», «компьютерная томография», «рентгенография», «интервенционные исследования» в поиске баз данных PubMed и eLIBRARY. Из зарубежных публикаций в первую очередь рассматривались публикации, содержавшие количественную характеристику уровней диагностического облучения по величине эффективной дозы (далее – ЭД). Далее обзор статей был расширен с использованием в базах данных функции выбора «похожих» публикаций. В исследовании анализировались материалы, опубликованные после 2010 г.

Выбор публикаций для анализа

Поиск литературы был ограничен статьями, в которых уровни облучения детей рассматривались прежде всего в аспекте радиационной безопасности. Публикации для анализа отбирались на основе аннотаций и заголовков, релевантных тематике исследования. В анализ были включены те публикации, в которых была представлена величина эффективной дозы хотя бы для одной процедуры. Критерии для включения публикаций в анализ разрабатывались авторами с использованием двойного контроля. Любые разногласия разрешались путем консенсуса.

Извлечение данных

Значения эффективных доз, представленных в публикациях, были пересчитаны в средние взвешенные эффективные дозы в соответствии с делением возрастных групп, основанным на математических фантомах для расчета эффективных доз и принятым в Российской Федерации для удобства сравнения значений между собой: 0–0,5 лет (возрастная группа – 0 лет); 0,5–3 лет (возрастная группа – 1 год); 3–8 лет (возрастная группа – 5 лет); 8–13 лет (возрастная группа – 10 лет); 13–18 лет (возрастная группа – 15 лет).^{1, 2}

Пересчет дозовых величин для известных возрастных интервалов (возрастных групп из публикаций) к новым возрастным интервалам (возрастным группам, принятым в РФ) был выполнен с использованием с по-

¹ МР 2.6.1.3387-16. Радиационная защита детей в лучевой диагностике. Методические указания. 2016. 28 с. [MP 2.6.1.3387-16. Radiation Protection of Children in X-ray Diagnostics. Guidelines. 2016. 28 p.]

² МР 2.6.1.0215-20. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований. Методические рекомендации. 2020. 29 с. [MP 2.6.1.0215-20. Assessment of Radiation Risk in Patients During X-ray Radiological Studies. Guidelines. 2020. 29 p.]

³ Приказ Росстата от 30.11.2022 № 880 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения с указаниями по ее заполнению для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием субъекта Российской Федерации»

мощью библиотек Python – Pandas, Numpy и SciPy и математически выражается следующим образом:

$$\frac{\int_A^B f(x) dx}{|B - A|}$$

где $f(x)$ – кусочно-постоянная функция, которой описываются изначальные данные из публикаций.

Графически пересчет представлен на рисунке 1. Значение дозовой величины для нового возрастного интервала – это отношение заштрихованной площади к ширине нового возрастного интервала (рис. 1).

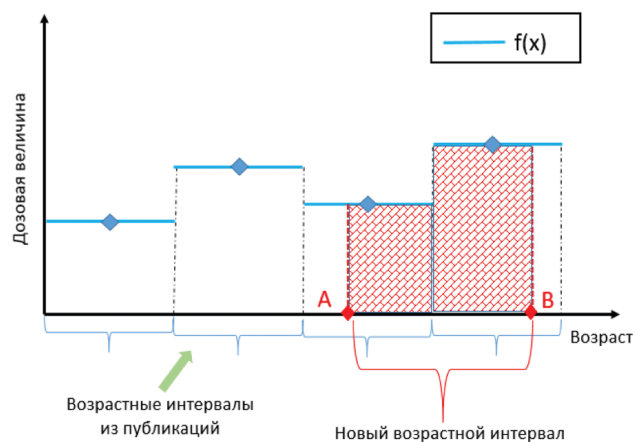


Рис. 1. Схематичное изображение дозовой величины, пересчитанной для нового возрастного интервала [AB]

Fig. 1. Representation scheme of the effective dose calculated for the new age interval [AB]

Процедуры КТ с низкой частотой проведения намеренно не были исключены из анализа. Различные КТ-процедуры, но соответствующие одной и той же анатомической области (например, КТ головы и КТ головного мозга) не объединялись с целью показа всего разнообразия видов процедур, выполняющихся детям. Аналогичным образом были обработаны данные по интервенционно-радиологическим процедурам.

Анализ государственных статистических форм

Были проанализированы формы государственной статистической отчетности № 3-ДОЗ восьми педиатрических медицинских организаций г. Санкт-Петербурга за период 2017–2021 гг. Из таблиц 2000 «Эффективные дозы облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований, полученные на основе контроля доз» была получена информация о средних эффективных дозах детей за одно исследование по каждому виду лучевой диагностики. В связи с тем, что в форме № 3-ДОЗ отсутствует деление детей на возрастные группы, по всем медицинским организациям за исследуемые годы было рассчитано среднее значение эффективной дозы для детей от 0 до 18 лет, которое в дальнейшем сравнивалось с литературными данными.

Статистический анализ

Анализ проводился с помощью программного обеспечения Statistica 12. Для статистической обработки и анализа использовались следующие величины – среднее, минимальные и максимальные значения ЭД.

Результаты

Рентгенография

Результаты статистической обработки средних взвешенных эффективных доз для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных источников при проведении рентгенографических исследований представлены в табл. 1.

Для сравнения величин эффективных доз детей при проведении рентгенографических исследований было рассмотрено 5 зарубежных и 2 отечественных источника, опубликованных после 2010 г. В источниках [20–22, 24] представлены эффективные дозы за все исследование, в источниках [23, 25, 26] представлены эффективные дозы за одну проекцию.

Во всех источниках рассмотрены исследования органов грудной клетки (ОГК). Исследование черепа, органов брюшной полости (ОБП) и таза представлены в 71 % (5 из 7), поясничного отделов позвоночника (ПОП) в 57 % (4 из 7), шейного (ШОП) и грудного (ГОП) отделов позвоночника в 43 % (3 из 7), и бедра в 29 % (2 из 7).

Можно отметить, что данные о рентгенографических исследованиях черепа и ОГК чаще представлены для детей возрастных групп 5 и 15 лет. Рентгенографическое исследование ОГК для детей возрастных групп 5 и 15 лет упоминается в 100 % публикаций (7 из 7) (0 и 10 лет – 86 % (6 из 7), 1 год – 71 % (5 из 7)). Рентгенографическое исследование черепа для детей возрастных групп 5 и 15 лет упоминается в 71 % публикаций (5 из 7) (остальные возрастные группы – 0 лет, 1 год, 10 лет – 57 % (4 из 7)).

Для рентгенографических исследований ОБП и ШОП сложнее выделить возрастные группы с наибольшей частотой упоминания. Рентгенографическое исследование ОБП для трех возрастных групп – 0, 5 и 15 лет – упоминается в 71 % публикаций (5 из 7) (1 год и 10 лет – 57 % (4 из 7)). Рентгенографические исследования ШОП, кроме того, в целом реже упоминаются: для детей возрастных групп 5, 10 и 15 лет 43 % (3 из 7), для возрастных групп 0 лет и 1 год – 29 % (2 из 7).

Рентгенографические исследования таза, ПОП, ГОП и бедра упоминаются практически с одинаковой частотой для всех возрастных групп. Рентгенографическое исследование таза для детей возрастных групп 0, 1, 5, 10 лет упоминается в 71 % публикаций (5 из 7), и только для возрастной группы 15 лет – в 57 % (4 из 7). Рентгенографическое исследование ПОП для всех возрастных групп упоминается в 57 % публикаций (4 из 7), рентгенографическое исследование ГОП – в 43 % публикаций (3 из 7), рентгенографическое исследование бедра для всех возрастных групп – в 29 % публикаций (2 из 7).

Средние взвешенные эффективные дозы, а также дозовые диапазоны для разных рентгенографических исследований для разных возрастных групп детей представлены в табл. 1.

По данным зарубежных источников, для рентгенографических исследований черепа наибольшие средние взвешенные дозы (0,08 мЗв) наблюдались у детей возрастной группы 0 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем 0,04 мЗв. По данным отечественных источников, для рентгенографических исследований черепа наблюдается противоположная картина – наибольшая средняя взвешенная доза у детей возрастной группы 15 лет (0,08 мЗв), для остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем 0,06 мЗв.

По данным зарубежных источников, для рентгенографических исследований ОГК средняя взвешенная доза

Таблица 1

Величина средней взвешенной эффективной дозы для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных литературных источников при проведении рентгенографических исследований

The average weighted effective doses for different types of radiography examinations for all children age groups according to domestic and foreign publications

Источ- ник	Область	Возрастная группа	Количество источников	Среднее	Мин.	Макс.
1	2	3	4	5	6	7
Зарубежные источники	Череп	0	3	0,08	0,01	0,21
		1	3	0,06	0,01	0,14
		5	4	0,04	0,01	0,10
		10	3	0,04	0,01	0,11
		15	4	0,04	0,01	0,12
		15	4	0,04	0,01	0,12
	ОГК	0	4	0,05	0,02	0,10
		1	3	0,06	0,03	0,10
		5	5	0,05	0,02	0,10
		10	4	0,05	0,02	0,13
		15	5	0,06	0,02	0,14
	ШОП	0	1	0,02	0,02	0,02
		1	1	0,03	0,03	0,03
		5	2	0,06	0,04	0,08
		10	2	0,11	0,07	0,14
		15	2	0,15	0,10	0,20
	ГОП	0	2	0,39	0,39	0,39
		1	2	0,35	0,29	0,41
		5	2	0,63	0,56	0,70
		10	2	0,97	0,93	1,01
		15	2	1,23	1,18	1,27
	ПОП	0	2	0,30	0,04	0,55
		1	2	0,30	0,05	0,56
		5	2	0,74	0,54	0,94
		10	2	0,89	0,68	1,11
		15	2	1,06	0,80	1,31
	ОБП	0	4	0,08	0,03	0,15
		1	3	0,09	0,03	0,15
		5	4	0,11	0,04	0,20
		10	3	0,21	0,05	0,38
		15	4	0,37	0,05	0,65
	Таз	0	4	0,08	0,02	0,17
		1	4	0,08	0,01	0,19
		5	4	0,11	0,03	0,25
		10	4	0,17	0,03	0,41
		15	3	0,24	0,03	0,48
	Бедро	0	1	0,10	0,10	0,10
		1	1	0,11	0,11	0,11
		5	1	0,14	0,14	0,14
		10	1	0,17	0,17	0,17
		15	1	0,20	0,20	0,20

1	2	3	4	5	6	7
Отечественные источники	Череп	0	1	0,07	0,07	0,07
		1	1	0,05	0,05	0,05
		5	1	0,06	0,06	0,06
		10	1	0,06	0,06	0,06
		15	1	0,08	0,08	0,08
	ОГК	0	1	0,07	0,07	0,07
		1	1	0,08	0,08	0,08
		5	1	0,07	0,07	0,07
		10	1	0,07	0,07	0,07
		15	1	0,09	0,09	0,09
	ШОП	0	1	0,15	0,15	0,15
		1	1	0,07	0,07	0,07
		5	1	0,08	0,08	0,08
		10	1	0,09	0,09	0,09
		15	1	0,10	0,10	0,10
	ГОП	0	1	0,31	0,31	0,31
		1	1	0,39	0,39	0,39
		5	1	0,31	0,31	0,31
		10	1	0,42	0,42	0,42
		15	1	0,63	0,63	0,63
	ПОП	0	1	0,30	0,30	0,30
		1	1	0,37	0,37	0,37
		5	1	0,45	0,45	0,45
		10	1	0,53	0,53	0,53
		15	1	0,76	0,76	0,76
	ОБП	0	1	0,10	0,10	0,10
		1	1	0,12	0,12	0,12
		5	1	0,14	0,14	0,14
		10	1	0,34	0,34	0,34
		15	1	0,55	0,55	0,55
	Таз	0	1	0,06	0,06	0,06
		1	1	0,06	0,06	0,06
		5	1	0,13	0,13	0,13
		10	1	0,25	0,25	0,25
		15	1	0,32	0,32	0,32
	Бедро	0	1	0,02	0,02	0,02
		1	1	0,02	0,02	0,02
		5	1	0,09	0,09	0,09
		10	1	0,23	0,23	0,23
		15	1	0,22	0,22	0,22

Примечание: ОГК – органы грудной клетки, ШОП – шейный отдел позвоночника, ГОП – грудной отдел позвоночника, ПОП – поясничный отдел позвоночника, ОБП – органы брюшной полости

слабо варьирует в зависимости от возраста: максимальное значение наблюдалось у детей возрастных групп 1 год и 15 лет (0,06 мЗв), для всех остальных групп средняя взвешенная доза составила в среднем 0,05 мЗв. По данным отечественных источников наблюдается схожая ситуация, но наибольшая средняя взвешенная доза, характерная для возрастных групп 10 и 15 лет (0,07 мЗв), а для остальных возрастных групп – средняя взвешенная доза, составила в среднем 0,06 мЗв.

По данным зарубежных источников, для рентгенографических исследований ШОП наибольшая средняя взвешенная доза (0,15 мЗв) наблюдалась у детей возрастной группы 15 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем 0,05 мЗв. По данным отечественных источников, для рентге-

нографических исследований ШОП наибольшая средняя взвешенная доза (0,15 мЗв) наблюдалась, наоборот, у детей возрастной группы 0 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем 0,09 мЗв.

По данным зарубежных источников, для рентгенографических исследований ГОП, ПОП, ОБП и таза наибольшие средние взвешенные дозы (1,23, 1,06, 0,37 и 0,24 мЗв соответственно) наблюдались у детей возрастной группы 15 лет, для всех остальных возрастных групп средние взвешенные дозы составили в среднем 0,59, 0,56, 0,12 и 0,11 мЗв соответственно. По данным отечественных источников, наибольшие средние взвешенные дозы для рентгенографических исследований ГОП, ПОП, ОБП и таза (0,63, 0,59, 0,55 и 0,32 мЗв со-

ответственно) тоже наблюдались для возрастной группы 15 лет, а для остальных возрастных групп средние взвешенные дозы составили в среднем 0,36, 0,34, 0,18 и 0,13 мЗв соответственно.

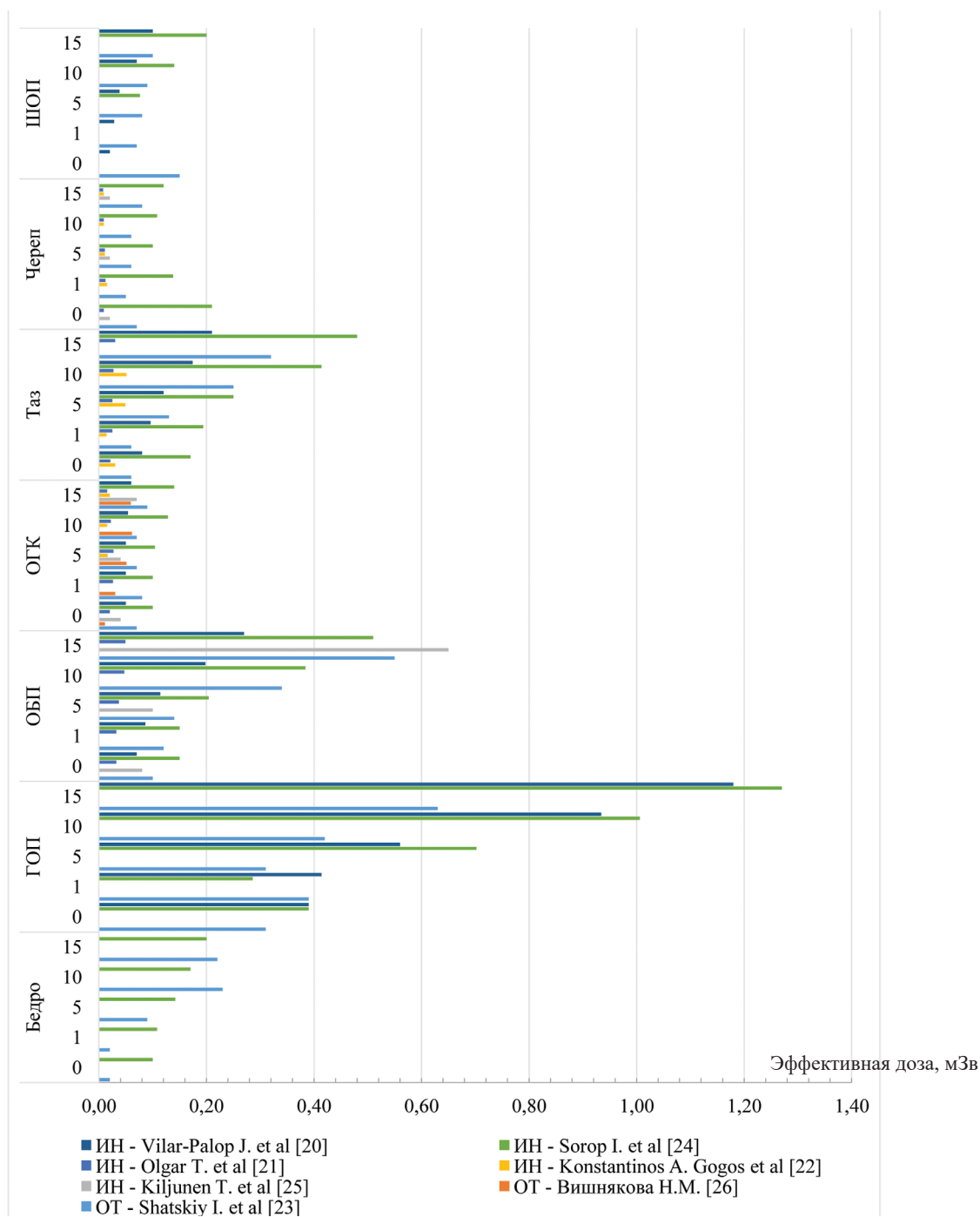
По данным зарубежных источников, для рентгенографических исследований бедра наибольшая средняя взвешенная доза (0,2 мЗв) наблюдалась у детей возрастной группы 15 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем 0,13 мЗв. По данным отечественных источников, для рентгенографических исследований бедра наибольшая средняя взвешенная

доза (0,23 мЗв) наблюдалась у детей возрастной группы 10 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем 0,09 мЗв.

Средние взвешенные значения эффективных доз для различных видов рентгенографических исследований для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных источников представлены на рис. 2.

Компьютерная томография

Результаты статистической обработки средних взвешенных эффективных доз для разных возрастных групп



* ОТ – отечественные источники, ИИ – зарубежные источники

Рис. 2. Средние взвешенные значения эффективных доз для различных видов рентгенографических исследований в разных возрастных группах детей по данным отечественных и зарубежных литературных источников

Fig. 2. The average weighted effective doses for different types of radiography examinations for all children age groups according to domestic and foreign publications

детей по данным отечественных и зарубежных источников при проведении КТ-исследований представлены в табл. 2.

При обзоре эффективных доз детей при проведении КТ-исследований было рассмотрено 12 зарубежных и 5 отечественных источника, опубликованных после 2010 г.

Таблица 2

Величина средней взвешенной эффективной дозы для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных источников при проведении КТ-исследований

The average weighted effective doses for different types of CT-examinations for all children age groups according to domestic and foreign publications

Источ-ник	Область	Воз-растная группа	Коли-чество источ-ников	Среднее	Мин.	Макс.
1	2	3	4	5	6	7
Зарубежные источники	Голова	0	9	3,32	1,70	7,65
		1	9	2,58	1,62	4,20
		5	11	2,04	0,70	2,73
		10	8	2,15	1,01	3,27
		15	8	2,05	0,86	3,39
	ОГК	0	8	3,61	1,20	12,00
		1	8	2,65	0,90	4,00
		5	10	4,03	0,80	11,20
		10	7	3,79	1,00	5,24
		15	7	4,14	2,38	6,80
	ОБП	0	6	5,89	2,80	10,45
		1	6	5,43	3,10	7,90
		5	8	5,33	1,90	11,05
		10	4	6,33	4,00	11,80
		15	4	4,65	3,85	5,66
	Таз	0	3	5,22	2,80	7,90
		1	3	5,90	3,10	7,90
		5	4	4,28	1,30	7,90
		10	1	6,40	6,40	6,40
		15	1	4,70	4,70	4,70
	Все тело	0	1	3,90	3,90	3,90
		1	1	3,18	3,18	3,18
		5	1	4,04	4,04	4,04
		10	1	6,68	6,68	6,68
		15	1	8,30	8,30	8,30
	ОБП/Таз	0	4	6,06	2,70	13,10
		1	4	7,62	2,70	13,75
		5	4	7,00	5,10	9,56
		10	4	8,65	5,74	12,10
		15	4	9,25	5,10	13,50
	ОГК/ОБП/Таз	0	2	8,65	4,30	13,00
		1	1	6,62	6,62	6,62
		5	2	8,32	7,38	9,25
		10	1	9,01	9,01	9,01
		15	1	12,17	12,17	12,17
	Ангиография	1	1	2,75	2,75	2,75
		5	1	14,50	14,50	14,50
		10	1	2,60	2,60	2,60
		15	1	3,00	3,00	3,00
	Муковисцидоз	5	1	15,40	15,40	15,40
	Головной мозг	0	1	2,40	2,40	2,40
		1	1	1,90	1,90	1,90
		5	1	1,78	1,78	1,78
		10	1	1,60	1,60	1,60
		15	1	1,40	1,40	1,40

Следует отметить, что не во всех источниках указана подробная информация о методиках расчета доз, что может вызывать неопределенности в сравнении и интерпретации результатов. Не во всех источниках для расчета доз были использованы коэффициенты перехода из публикаций МКРЗ 103 или 60. В работе Н. Obara et al [28] ис-

1	2	3	4	5	6	7
Зарубежные источники	Шея	0	2	3,20	0,40	6,00
		1	2	2,25	1,50	3,00
		5	2	1,65	0,30	3,00
		10	1	3,00	3,00	3,00
		15	1	3,00	3,00	3,00
	ОГК/ОБП	0	1	6,00	6,00	6,00
		1				
		5				
		10				
		15				
Отечественные источники	Голова	0	1	1,50	1,50	1,50
		1	1	1,40	1,40	1,40
		5	1	1,50	1,50	1,50
		10	1	1,40	1,40	1,40
		15	1	1,70	1,70	1,70
	ОГК	0	4	2,18	1,10	2,70
		1	4	2,79	1,82	4,13
		5	4	2,27	1,58	2,70
		10	4	3,20	2,10	4,60
		15	4	3,18	2,50	4,50
	ОБП	0	2	3,50	2,00	5,00
		1	2	4,65	4,30	5,00
		5	2	4,75	4,50	5,00
		10	2	4,55	4,10	5,00
		15	2	5,30	5,00	5,60
	Головной мозг	0	2	2,11	1,50	2,72
		1	2	1,04	0,57	1,50
		5	1	1,50	1,50	1,50
		10	1	1,50	1,50	1,50
		15	1	1,50	1,50	1,50
	ПОП	0	1	1,40	1,40	1,40
		1				
		5				
		10				
		15				
	ОБП/Таз	0	1	10,64	10,64	10,64
		1	1	13,30	13,30	13,30
	Сердце	0	1	20,88	20,88	20,88
		1	1	15,00	15,00	15,00
	Сердце/ОГК	0	1	19,11	19,11	19,11

Примечание: ОГК – органы грудной клетки, ОБП – органы брюшной полости, ПОП – поясничный отдел позвоночника; через «/» указаны анатомические области при КТ-исследованиях совмещенных областей

пользовались коэффициенты из публикации МКРЗ 102, в работе С. Mordacq [29] и Jonina Gudjonsdottir [30] использовались коэффициенты перехода, представленные в отчете № 96 ААРМ. Кроме того, не во всех источниках есть уточнение о том, является ли указанное значение дозы дозой за одну фазу или за все исследование. В источниках Jonina Gudjonsdottir et al [30], Фомин Е.П. и др. [16], Капырина Ю.Н. [19] – представлены эффективные дозы за все исследование, в источниках Балонов М.И. и др. [56] и Дружинина П.С. и др. [18] – представлены эффективные дозы за одну фазу исследования.

В изученных зарубежных и отечественных источниках КТ-исследования головы рассмотрены в 71 % (12 из 17) публикаций, органов грудной клетки (ОГК) в 82 % (14 из 17), органов брюшной полости (ОБП) в 59 % (10 из 17), таза в 24 % (4 из 17), совмещенных областей ОБП и таза (ОБП/таз) в 29 % (5 из 17) и совмещенных областей ОГК/ОБП/таз в 12 % (2 из 17), головного мозга в 18 % (3 из 17), шеи в 12 % (2 из 17). Гораздо реже в литературе упоминаются исследования областей ОГК/ОБП, ПОП, сердца, сердца/ОГК, всего тела, а также ангиографии и исследования при диагностике муковисцидоза – каждое из этих исследований встречается в 6 % публикаций (1 из 17).

При этом следует отметить, что КТ-исследования головы, ОГК, ОБП и таза чаще проводятся детям возрастной группы 5 лет. КТ-исследование головы для детей возрастной группы 5 лет упоминается в 71 % публикаций (12 из 17) (0 лет – 59 % (10 из 17), 1 год – 59 % (10 из 17), 10 лет – 53 % (9 из 17) и 15 лет – 53 % (9 из 17)). КТ-исследование ОГК для детей возрастной группы 5 лет упоминается в 82% публикаций (14 из 17) (0 лет – 71 % (12 из 17), 1 год – 71 % (12 из 17), 10 лет – 65 % (11 из 17) и 15 лет – 65 % (11 из 17)). КТ-исследование ОБП для детей возрастной группы 5 лет упоминается в 59 % публикаций (10 из 17) (0 лет – 47 % (8 из 17), 1 год – 47 % (8 из 17), 10 лет – 35 % (6 из 17) и 15 лет – 35 % (6 из 17)). КТ-исследование таза для детей возрастной группы 5 лет упоминается в 24 % публикаций (4 из 17) (0 лет – 18 % (3 из 17), 1 год – 18 % (3 из 17), 10 лет – 6 % (1 из 17) и 15 лет – 6 % (1 из 17)).

КТ-исследования головного мозга, шеи, ОБП/таз и ОГК/ОБП/таз проводятся примерно одинаково детям всех возрастных групп. КТ-исследование головного мозга для детей возрастной группы 0 лет упоминается в 18 % публикаций (3 из 17), 1 год – в 18 % (3 из 17), 5 лет – в 12 % (2 из 17), 10 лет – в 12 % (2 из 17), 15 лет – в 12 % (2 из 17). КТ-исследование шеи для детей возрастной группы 0 лет упоминается в 12 % публикаций (2 из 17), 1 год – в 12 % (2 из 17), 5 лет – в 12 % (2 из 17), 10 лет – в 6 % (1 из 17), 15 лет – в 6 % (1 из 17). КТ-исследование ОБП/таз для детей возрастной группы 0 лет упоминается в 29 % публикаций (5 из 17), 1 год – в 29 % (5 из 17), 5 лет – в 24 % (4 из 17), 10 лет – в 24 % (4 из 17), 15 лет – в 24 % (4 из 17). КТ-исследование ОГК/ОБП/таз для детей возрастной группы 0 лет упоминается в 12 % публикаций (2 из 17), 1 год – в 6 % (1 из 17), 5 лет – в 12 % (2 из 17), 10 лет – в 6 % (1 из 17), 15 лет – в 6 % (1 из 17).

Доли возрастных групп детей для КТ-исследований всего тела, ПОП, ОГК/ОБП, сердца, сердца/ОГК, а также исследований при диагностике муковисцидоза и ангиографии определить не представляется возможным, так как каждое из этих исследований встречалось лишь в 6 % публикаций (1 из 17). Кроме того, в этих публикациях рассматривалось ограниченное число возрастных групп. Например, КТ-исследования ПОП и ОГК/ОБП представлены для группы детей от 0 до 18 лет, исследования сердца – только для детей возрастных групп 0

и 1 год, исследование сердце/ОГК – только для детей возрастной группы 0 лет, исследование для диагностики муковисцидоза – только для детей возрастной группы 5 лет.

По данным зарубежных источников, для КТ-исследований головы и головного мозга наибольшие средние взвешенные дозы (3,32 и 2,4 мЗв соответственно) наблюдались у детей возрастной группы 0 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 2,2 мЗв и 1,7 мЗв соответственно. По данным отечественных источников, для КТ-исследований головы наблюдается схожая ситуация – наибольшая средняя взвешенная доза у детей возрастной группы 0 лет (2,11 мЗв), для остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 1,4 мЗв; для исследований головного мозга для всех возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 1,5 мЗв, чуть выше доза наблюдается у детей возрастной группы 15 лет (1,70 мЗв).

По данным зарубежных и отечественных источников, для КТ-исследований ОГК наибольшие средние взвешенные дозы (4,14 и 3,18 мЗв соответственно) наблюдались у детей возрастной группы 15 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 3,52 мЗв и 2,61 мЗв соответственно.

По данным зарубежных источников, для КТ-исследований ОБП наибольшая средняя взвешенная доза (6,33 мЗв) наблюдались у детей возрастной группы 10 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 5,3 мЗв. По данным отечественных источников, для КТ-исследований ОБП наибольшая средняя взвешенная доза (5,3 мЗв) наблюдались у детей возрастной группы 15 лет, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 4,4 мЗв.

По данным зарубежных источников, для КТ-исследований смежных областей ОБП/таз и наибольшая средняя взвешенная доза наблюдалась у детей возрастной группы 15 лет и составила 8,30 мЗв, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 7,3 мЗв. В отечественных источниках для исследований ОБП/таз дозы рассмотрены только для двух возрастных групп – для детей возрастной группы 0 лет – 10,64 мЗв (зарубежные данные – 6,06 мЗв), 1 год – 13,30 (зарубежные данные – 7,62 мЗв).

В зарубежных источниках также рассматриваются КТ-исследования анатомических областей, таких как шея, ОГК/ОБП, таз, ОГК/ОБП/таз, все тело, а также исследования ангиографии и диагностики муковисцидоза, которые пока не встречаются в отечественной литературе. Для исследований шеи наибольшая средняя взвешенная доза наблюдалась у детей возрастной группы 0 лет и составила 3,2 мЗв, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 2,5 мЗв. Для исследований ОГК/ОБП средняя взвешенная доза составила 6 мЗв для детей всех возрастов от 0 до 18 лет. Для исследований таза наибольшая средняя взвешенная доза наблюдалась у детей возрастной группы 10 лет и составила 6,4 мЗв, для всех остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем ~ 5 мЗв. Для исследований ОГК/ОБП/таз и всего тела наибольшие средние взвешенные дозы наблюдались у детей возрастной группы 15 лет и составили 12,17 мЗв и 8,30 мЗв соответственно, для всех остальных возрастных групп средние взвешенные дозы составили в среднем ~ 8,15 мЗв и 4,45 мЗв соответственно. Для ангиографии наибольшая средняя взвешенная доза наблюдалась у детей возрастной группы 5 лет и составила 14,5 мЗв, для всех

остальных возрастных групп средняя взвешенная доза составила в среднем $\sim 2,8$ мЗв. При диагностике муковисцидоза опубликованы данные только для детей возрастной группы 5 лет, и при этом средняя взвешенная доза составила 15,4 мЗв.

В отечественных источниках рассматриваются некоторые КТ-исследования, которые не встречались в зарубежных источниках – ПОП, сердце, сердце/ОГК. Данные об КТ-исследовании ПОП встречались только в одном источнике, были представлены для группы детей в целом от 0 до 18 лет, эффективная доза была рассчитана за все исследование и составила 1,4 мЗв. КТ-исследования сердца и сердца/ОГК также были рассмотрены только в одном источнике и только для новорожденных детей. Дозы в этих исследованиях значительно выше и составляют при исследовании сердца для детей возрастной группы 0 лет 20,88 мЗв, 1 год – 15 мЗв; при исследованиях сердца/ОГК для детей возрастной группы 1 год – 19,11 мЗв.

Средние взвешенные значения эффективных доз для КТ-исследований головы, ОГК и ОБП, наиболее часто встречающихся в литературе, для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных источников представлены на рис. 3.

Интервенционно-радиологические процедуры

Результаты статистической обработки средних взвешенных эффективных доз для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных источников при проведении интервенционных исследований представлены в табл. 3.

При обзоре эффективных доз детей при проведении интервенционных процедур было рассмотрено 7 зарубежных и 6 отечественных источника, опубликованных в основном после 2010 г. Один зарубежный источник Raelson C.A. et al [49], опубликованный в 2009 г., также был включен в анализ, так как был посвящен уровням облучения детей при проведении процедур при нейрохирургических патологиях (область сосудов головного мозга), которые не встречались в более поздних публикациях.

Как и в случае с другими вышеописанными методами лучевой диагностики, не во всех источниках указана подробная информация о использованных коэффициентах перехода для расчета эффективных доз, что может вызывать неопределенности в сравнении и интерпретации результатов. В работах Капыриной Ю.Н. и др. [42–44] и Song S. et al [48] были использованы коэффициенты перехода из публикации МКРЗ 60; в работах Karambatsakidou A. et al [46] и Ubeda C. et al [45] – из публикации МКРЗ 103; в работе Капыриной Ю.Н. и др. [41] использовались коэффициенты перехода из обеих публикаций МКРЗ 103 и 60. В остальных литературных источниках такая информация отсутствовала.

При анализе зарубежных источников все виды интервенционных процедур, которые встречались в публикациях, можно объединить в две группы: интервенционные вмешательства при нейрохирургических патологиях (сосуды головного мозга) и интервенционные вмешательства при врожденных пороках сердца (сердце/сосуды сердца).

В изученных зарубежных и отечественных источниках интервенционные вмешательства при врожденных пороках сердца рассмотрены в 46 % публикаций (до 6 из 13), исследования сосудов сердца в 15 % (2 из 13), исследования на органах желудочно-кишечного тракта (далее – ЖКТ) и трахеобронхиального дерева в 15 % (2 из 13), рентгенэндоваскулярная окклюзия тестикуляр-

Таблица 3

Величина средней взвешенной эффективной дозы для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных источников при проведении интервенционных процедур

The average weighted effective doses for different types of interventional examinations for all children age groups according to domestic and foreign publications

Источник	Область	Возрастная группа	Количество источников	Среднее	Мин.	Макс.	Медиана
Отечественные источники	Сосуды сердца	0	2	3,03	0,80	5,25	3,03
		1	2	2,78	0,30	5,25	2,78
		5	2	2,52	0,20	4,85	2,52
		10	2	3,00	0,20	5,79	3,00
		15	2	5,27	0,10	10,44	5,27
	Органы ЖКТ и трахеобронхиального дерева	0	2	2,55	0,10	5,00	2,55
		1	2	1,38	0,20	2,56	1,38
		5	1	0,60	0,60	0,60	0,60
	Периферические сосуды (рентгенэндоваскулярная окклюзия тестикулярных вен)	10	1	2,50	2,50	2,50	2,50
		15	1	3,40	3,40	3,40	3,40
	Пищевод (баллонная пластика)	0	1	1,20	1,20	1,20	1,20
Зарубежные источники	Сердце/сосуды сердца	0	6	3,98	1,20	8,70	3,45
		1	6	3,96	1,28	8,70	3,54
		5	5	3,04	1,30	5,00	2,21
		10	5	5,01	1,90	10,76	4,80
		15	5	7,04	2,30	16,50	5,00
	Сосуды головного мозга	0	1	10,40	10,40	10,40	10,40
		1					
		5					
		10					
		15					

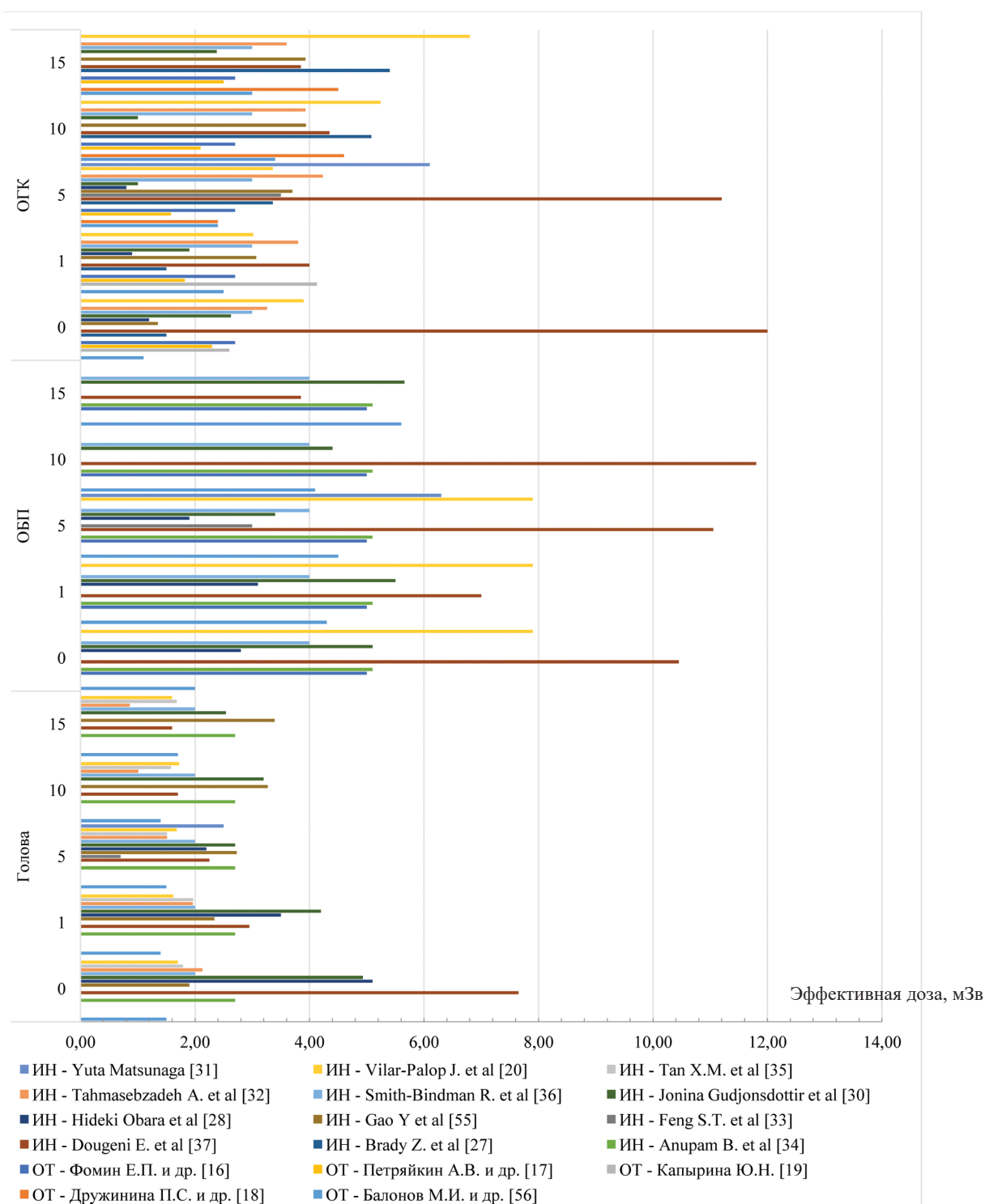
ных вен в 7 % (1 из 13), баллонная пластика пищевода 7 % (1 из 13), вмешательства на сосудах головного мозга в 7 % (1 из 13).

При сравнении разных видов интервенционных процедур по результатам анализа выбранных зарубежных и отечественных источников пересечений по процедурам не было.

По данным зарубежных публикаций, в интервенционных вмешательствах при врожденных пороках сердца наибольшая средняя эффективная доза наблюдается у детей возрастной группы 15 лет, составляя 7,04 мЗв. Чуть ниже средняя доза наблюдается у детей возрастной группы 10 лет, составляя около 5 мЗв. У детей возрастной группы 0 и 1 год средние дозы находятся на одном уровне и составляют 3,98 мЗв и 3,96 мЗв соответственно. Наименьшая доза наблюдается у детей возрастной группы 5 лет – 3 мЗв.

Как было упомянуто выше, лишь в одном зарубежном источнике из всех рассмотренных был проведен обзор доз облучения детей при интервенционных вмешательствах на сосудах головного мозга. Деление детей на возрастные подгруппы в данной публикации отсутствовало. Средняя эффективная доза указана для детей от 0 до 17 лет и составляет 10,4 мЗв.

По данным отечественных источников, при интервенционных исследованиях сосудов сердца наиболь-



*ОТ – отечественные источники, ИН – зарубежные источники

Рис. 3. Средние взвешенные значения эффективных доз для КТ-исследований головы, ОГК и ОБП в разных возрастных группах детей по данным отечественных и зарубежных источников
 Fig. 3. The average weighted effective doses for different types of CT- examinations for all children age groups according to domestic and foreign publications

шая средняя эффективная доза наблюдается у детей возрастной группы 15 лет – 5,27 мЗв, а наименьшая для детей возрастной группы 5 лет – 2,52 мЗв. Для остальных возрастных групп средняя эффективная доза составляет в среднем 3 мЗв.

При проведении интервенционных исследований на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева в отечественной практике информация о средних

эффективных дозах представлена для трех возрастных групп детей (0, 1 и 5 лет). Наибольшее значение средних эффективных доз наблюдаются у новорожденных детей (0 лет), составляя 2,55 мЗв, а наименьшее – у детей возрастной группы 5 лет, составляя 0,6 мЗв. Для детей возрастной группы 1 год средняя эффективная доза облучения составила 1,38 мЗв.

В отечественном источнике [42] рассмотрены средние эффективные дозы для детей старших возрастных групп 10 и 15 лет при проведении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен и составляют 2,5 мЗв и 3,4 мЗв соответственно. Тем же автором в другой публикации [43] были рассмотрены уровни облучения новорожденных детей при баллонной пластике пищевода. Средняя эффективная доза для данного исследования составила 1,2 мЗв.

Средние взвешенные значения эффективных доз при интервенционных исследованиях для разных возрастных групп детей по данным отечественных и зарубежных источников представлены на рис. 4.

Обсуждение

В рассмотренных авторами источниках использовалось разное деление детей на возрастные группы, поэтому для возможности проведения сравнительного анализа был выполнен пересчет эффективных доз во взвешенные величины (см. Материалы и методы). Несмотря на разные подходы по оценке доз детей в рассмотренных статьях, все данные, содержащиеся в них, были объединены для общего анализа.

Рентгенография

Хотя в рассмотренных публикациях прямо не указано, что представление данных по тем или иным обла-

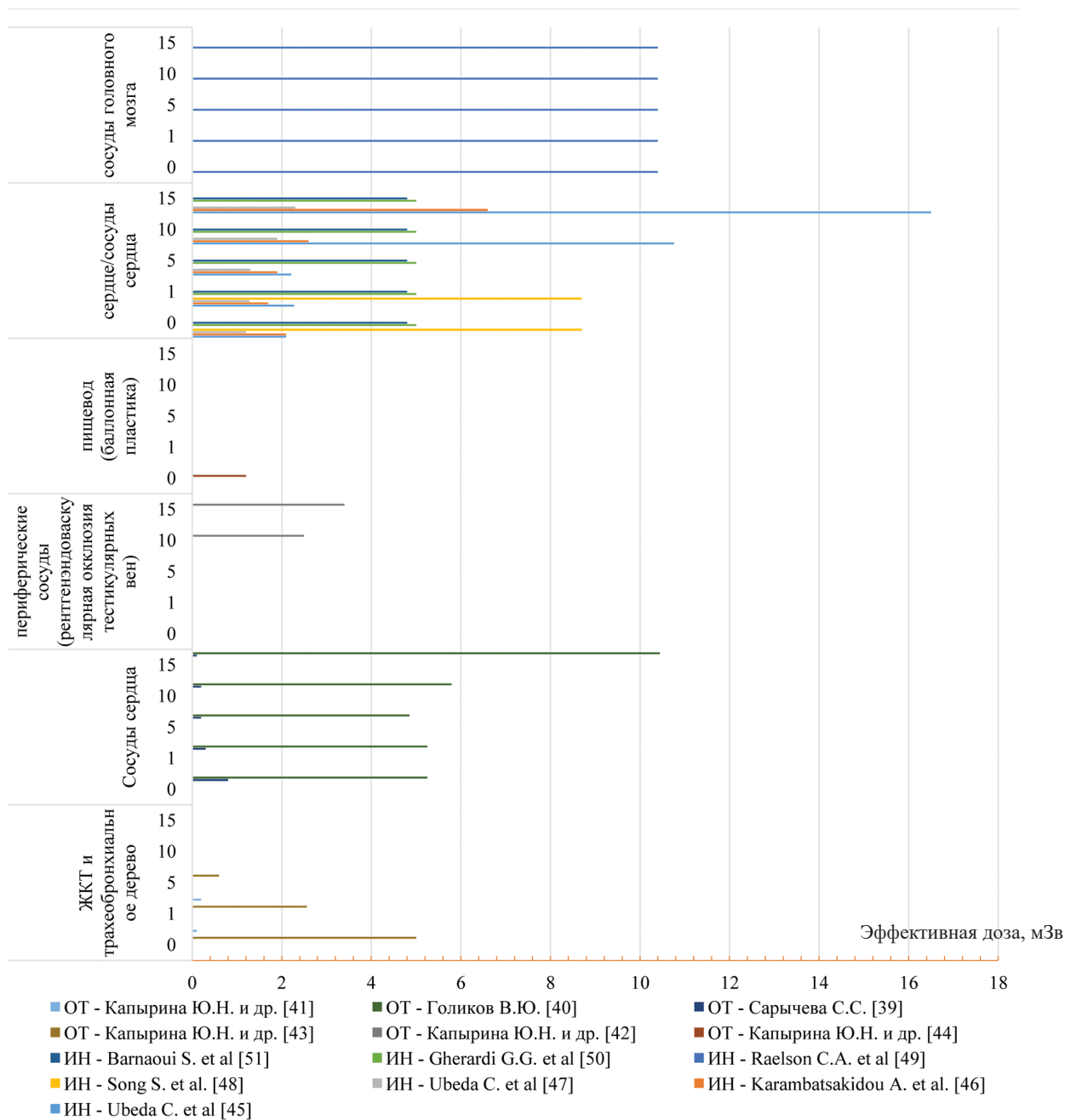


Рис. 4. Средние взвешенные значения эффективных доз при интервенционных процедурах в разных возрастных группах детей по данным отечественных и зарубежных источников

Fig. 4. The average weighted effective doses for different types of interventional examinations for all children age groups according to domestic and foreign publications

стям рентгенографических исследований отражает факт проведения или не проведения данных рентгенографических исследований в той или иной рассматриваемой практике, тем не менее, по полученному при совокупном рассмотрении набора публикаций распределению частоты упоминания рентгенографических исследований можно судить об их распространенности, в том числе в зависимости от возраста.

Стабильно высокая частота исследований характерна для ОБП, таза и ПОП. Для черепа и ОГК характерна высокая частота, но с зависимостью от возраста: частота увеличивается с возрастом. В зарубежных странах среднее значение и диапазон доз (среднее/мин.-макс.) во всех возрастных группах детей для рентгенографических исследований ОГК составляют 0,05/0,05–0,06 мЗв, черепа – 0,05/0,04–0,08 мЗв, ОБП – 0,17/0,08–0,37 мЗв, таза – 0,14/0,08–0,24 мЗв, ПОП – 0,66/0,3–1,06 мЗв; в Российской Федерации среднее значение и диапазон доз (среднее/мин.-макс.) во всех возрастных группах детей для рентгенографических исследований ОГК составляют 0,06/0,04–0,07 мЗв, черепа – 0,06/0,05–0,08 мЗв, ОБП – 0,25/0,1–0,55 мЗв, таза – 0,16/0,06–0,32 мЗв, ПОП – 0,39/0,21–0,59 мЗв.

Для остальных исследований (ШОП, ГОП, бедро) характерна невысокая частота без выраженной зависимости от возраста. В зарубежных странах среднее значение и диапазон доз (среднее/мин.-макс.) во всех возрастных группах детей для рентгенографических исследований ШОП составляют 0,07/0,02–0,15 мЗв, ГОП – 0,71/0,35–1,23 мЗв, бедра – 0,14/0,1–0,2 мЗв; в Российской Федерации среднее значение и диапазон доз (среднее/мин.-макс.) во всех возрастных группах детей для рентгенографических исследований ШОП составляют 0,1/0,07–0,15 мЗв, ГОП – 0,41/0,31–0,63 мЗв, бедра – 0,12/0,02–0,23 мЗв.

При сравнении зарубежных и отечественных источников значения доз в Российской Федерации для рентгенографических исследований ОБП выше на 8 %, а для рентгенографических исследований ГОП и ПОП ниже на 30 % и 27 % соответственно. Для остальных рентгенографических исследований данные сопоставимы.

КТ-исследования

Как в зарубежных странах, так и в Российской Федерации наиболее распространенными КТ-исследованиями детей являются исследования областей головы, ОГК, ОБП, таза и ОБП/таза. В зарубежных странах диапазон доз (среднее/мин – макс) во всех возрастных группах детей для КТ-исследования головы составляет 2,4/1,2–4,2 мЗв, ОГК – 3,6/1,3–7,8 мЗв, ОБП – 5,5/3,1–9,4 мЗв, таза – 5,3/3,7–7,0 мЗв, ОБП/таза – 7,7/4,3–12,4 мЗв; в Российской Федерации диапазон доз (среднее/мин.-макс.) для всех возрастных групп детей для КТ-исследования головы составляет 1,5 мЗв, ОГК – 2,7/1,8–3,7 мЗв, ОБП – 4,55/3,98–5,12 мЗв, ОБП/таза – 12,0 мЗв. Наиболее редкие – высокодозовые исследования, подразумевающие широкую область облучения и/или проведение исследования в несколько фаз (ОГК/ОБП/таза, все тело, ангиография, исследования сердца) или более специфические исследования (диагностика муковисцидоза). В зарубежных странах диапазон доз (среднее/мин – макс) во всех возрастных группах детей для КТ-исследования ОГК/ОБП/таза составляет 9/7,9–10 мЗв, всего тела – 5,2 мЗв, ангиографии – 5,7 мЗв, диагностики муковисцидоза – 15,4 мЗв; в Российской Федерации диапазон доз (среднее/мин – макс) для всех возрастных групп детей для КТ-исследования сердца составляет 17,9 мЗв, сердца и ОГК – 19,1 мЗв.

Анализ публикаций показал, что КТ-исследования проводятся всем возрастным группам детей либо примерно в равных долях, либо со смещением в сторону возрастной группы 5 лет, но во всех случаях КТ-исследования новорожденных детей (0–1 год) являются одними из наиболее частых. При этом новорожденные дети являются самыми чувствительными к воздействию ионизирующего излучения [57]. Несомненно, что в отдельных случаях КТ необходима для качественной и своевременной диагностики патологий у таких детей. Однако при назначении КТ-исследований новорожденным также необходимо строго соблюдать принципы обоснования и оптимизации.

При сравнении зарубежных и отечественных источников не все из них содержат полный и идентичный набор видов КТ-исследований: только часть КТ-исследований содержится во всех или большинстве (более 50 %) источников. Подобные КТ-исследования в данной работе отнесены к пересекающимся. При сравнении пересекающихся видов исследований, таких как голова, головной мозг, ОГК и ОБП, ОБП/таза, данные из зарубежных и отечественных источников в целом сопоставимы. При этом в Российской Федерации для КТ-исследований головы, головного мозга, ОГК и ОБП дозы ниже в сравнении с зарубежными данными. Из пересекающихся видов исследований в отечественной литературе наиболее высокие дозы наблюдаются у исследования ОБП/таза по сравнению с зарубежными данными. Такие высокие дозы могут быть объяснены прежде всего тем, что в работе [19] доза была рассчитана за все исследование, а не за одну фазу, кроме того, в выборку отечественной работы были включены высокодозовые исследования с контрастом. Информация о выборке из зарубежных источников отсутствовала, поэтому авторами данной статьи дозы ОБП/таза в зарубежных источниках расценивались, как дозы за одну фазу исследования.

Из непересекающихся с зарубежными данными КТ-исследований, следует отметить исследования сердца и сердца/ОГК в отечественных работах, так как для них наблюдаются довольно высокие дозы на фоне остальных. В данном случае высокие дозы также могут объясняться учетом нескольких фаз исследования и наличием в выборке контрастных исследований.

Однако из-за небольшого количества отечественных работ по КТ-исследованиям на данный момент невозможно сравнить уровни облучения по другим анатомическим областям и сделать окончательные выводы.

Интервенционно-радиологические процедуры

Анализ уровней облучения детей при проведении интервенционных процедур является наиболее трудным из всех рассмотренных видов лучевой диагностики. Трудности связаны, прежде всего, с небольшим количеством публикаций как зарубежных, так и отечественных по данной тематике, а также с очень ограниченными выборками пациентов, представленных в данных публикациях. Это связано с тем, что интервенционные процедуры – редкие исследования по сравнению с рентгенографией и КТ, и они проводятся в исключительных случаях, в основном при хирургических вмешательствах. Кроме того, интервенционные исследования на сегодняшний день не являются стандартизированной процедурой. Каждая отдельная процедура, несмотря на принадлежность к одной классификации (например, по анатомической области), может сильно отличаться по таким параметрам как: клиническая задача, размер тела пациента, геометрия облучения, длительность облучения и, как результат, доза облучения пациента.

Однако даже по небольшому количеству публикаций мы можем иметь примерное представление о том, какие интервенционные процедуры проводятся детям и с какими уровнями облучения в зарубежных странах и в Российской Федерации.

В данной работе невозможно провести сравнение зарубежных и отечественных данных по уровням облучения, так как из отобранных публикаций для анализа отсутствовали пересечения по видам процедур.

В зарубежной практике наиболее часто встречаются в основном два вида процедур – интервенционные вмешательства на сосудах головного мозга при нейрохирургических патологиях и интервенционные вмешательства при врожденных пороках сердца. При интервенционных вмешательствах при врожденных пороках сердца диапазон доз для всех возрастов детей составляет от 1 до 16,5 мЗв. Средняя эффективная доза при интервенционном вмешательстве на сосудах головного мозга для всех групп детей составляет 10,4 мЗв.

В отечественных источниках встречается больше видов интервенционных процедур. Исследования сосудов сердца упоминаются чаще других. Диапазон эффективных доз для этих исследований составляет от 0,1 до 10,4 мЗв для всех возрастных групп. Диапазон доз для исследований на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева для всех возрастных групп составляет от 0,1 до 5 мЗв, для рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен – от 2,5 до 3,4 мЗв. При баллонной пластике пищевода средняя эффективная доза для новорожденных составляет 1,2 мЗв.

Заключение

1. Методы лучевой диагностики имеют широкое применение в педиатрии. Рентгенографические, интервенционные процедуры и КТ-исследования выполняются для всех анатомических областей и детям всех возрастов, в том числе новорожденным.
2. Широкое применение методов лучевой диагностики в педиатрии ставит вопрос о необходимости оптимизации рентгенографических, интервенционных и КТ-исследований.
3. В Российской Федерации отсутствует единая система регистрации данных, учитывающая индивидуальные дозы облучения детей разных возрастных групп. В связи с этим отсутствует официальный источник информации. В научной литературе данные об уровнях облучения лиц детского возраста почти не рассматриваются и не систематизированы.
4. По данным литературных источников, в Российской Федерации средние взвешенные эффективные дозы детей в среднем для всех видов лучевой диагностики ниже, чем в зарубежных странах.
5. Для обеспечения радиационной защиты детей в Российской Федерации при проведении рентгенографических, интервенционных и КТ-исследований, прежде всего, необходимо повышать достоверность информации об уровнях облучения детей путем совершенствования систем сбора данных, контроля и учета индивидуальных доз, повышения уровня осведомленности специалистов.
6. Для расширения представления об уровнях облучения детей в медицине необходимо усовершенствование формы №3-ДОЗ, которое бы включало возможность учета индивидуальных доз облучения пациентов всех возрастов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lambert J.W., Phelps A.S., Courtier J.L., Gould R.G., MacKenzie J.D. Image Quality and Dose Optimisation for Infant CT Using a Paediatric Phantom // *European Radiology*. 2016. V.26, No. 5. P. 1387-95. DOI 10.1007/s00330-015-3951-5.
2. Strauss K.J., Goske M.J., Kaste S.C., Bulas D., Frush D.P., Butler P., Morrison G., Callahan M.J., Applegate K.E. Image Gently: Ten Steps You Can Take to Optimize Image Quality and Lower CT Dose for Pediatric Patients // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2010. V.194, No. 4. P. 868-873. DOI: 10.2214/AJR.09.4091.
3. IAEA. Dosimetry in Diagnostic Radiology for Paediatric Patients. IAEA Human Health Series No. 24. Vienna. 2014. 160 p.
4. Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Шацкий И.Г. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении медицинских исследований в Российской Федерации // *Радиационная гигиена*. 2021. Т.14, № 3. С. 56-68. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68>.
5. IAEA. Radiation Protection in Paediatric Radiology. Safety Reports Series No. 71. Vienna. 2013. 111 p.
6. Thierry-Chef I., Ferro G., Le Cornet L., Dabin J., Istad T.S., Jahnen A., Lee C., Maccia C., Malchair F., Olerud H.M., Harbron R.W., Figuerola J., Hermen J., Moissonnier M., Bernier M.O., Bosch de Basea M.B., Byrnes G., Cardis E., Hauptmann M., Journy N., Kesminiene A., Meulepas J.M., Pokora R., Simon S.L. Dose Estimation for the European Epidemiological Study on Pediatric Computed Tomography (EPI-CT) // *Radiation Research*. 2021. V.196, No. 1. P. 74-99. doi: 10.1667/RADE-20-00231.1.
7. Bosch de Basea M., Pearce M.S., Kesminiene A., Bernier M.O., Dabin J., Engels H., Hauptmann M., Krille L., Meulepas J.M., Struelens L., Baatout S., Kaijser M., Maccia C., Jahnen A., Thierry-Chef I., Blettner M., Johansen C., Kjaerheim K., Nordenskjöld A., Olerud H., Salotti J.A., Andersen T.V., Vrijheid M., Cardis E. EPI-CT: Design, Challenges and Epidemiological Methods of an International Study on Cancer Risk After Paediatric and Young Adult CT // *J. Radiol. Prot.* 2015. V.35, No. 3. P. 611-628. doi: 10.1088/0952-4746/35/3/611.
8. Berrington de Gonzalez A., Salotti J.A., McHugh K., Little M.P., Harbron R.W., Lee C., Ntowe E., Braganza M.Z., Parker L., Rajaraman P., Stiller C., Stewart D.R., Craft A.W., Pearce M.S. Relationship Between Paediatric CT Scans and Subsequent Risk of Leukaemia and Brain Tumours: Assessment of the Impact of Underlying Conditions // *British Journal of Cancer*. 2016. V.14, No. 4. P. 388-394. doi: 10.1038/bjc.2015.415.
9. Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P., McHugh K., Lee C., Kim K.P., Howe N.L., Ronckers C.M., Rajaraman P., Sir Craft A.W., Parker L., Berrington de Gonzalez A. Radiation Exposure from CT Scans in Childhood and Subsequent Risk of Leukaemia and Brain Tumours: a Retrospective Cohort Study // *Lancet*. 2012. V.380, No. 9840. P. 499-505. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
10. Mathews J.D., Forsythe A.V., Brady Z., Butler M.W., Goergen S.K., Byrnes G.B., Giles G.G., Wallace A.B., Anderson P.R., Guiver T.A., McGale P., Cain T.M., Dowty J.G., Bickerstaffe A.C., Darby S.C. Cancer Risk in 680,000 People Exposed to Computed Tomography Scans in Childhood or Adolescence: Data Linkage Study of 11 Million Australians // *BMJ*. 2013. No. 346. P. f2360. doi: 10.1136/bmj.f2360.
11. Huang W.Y., Muo C.H., Lin C.Y., Jen Y.M., Yang M.H., Lin J.C., Sung F.C., Kao C.H. Paediatric Head CT Scan and Subsequent Risk of Malignancy and Benign Brain Tumour: a Nation-Wide Population-Based Cohort Study // *British Journal of Cancer*. 2014. V.110, No. 9. P. 2354-2360. doi: 10.1038/bjc.2014.103.
12. Bernier M.O., Baysson H., Pearce M.S., Moissonnier M., Cardis E., Hauptmann M., Struelens L., Dabin J., Johansen C., Journy N., Laurier D., Blettner M., Le Cornet L., Pokora R., Gradowska P., Meulepas J.M., Kjaerheim K., Istad T., Olerud H., Sovik A., Bosch de Basea M., Thierry-Chef I., Kaijser M., Nordenskjöld A., Berrington de Gonzalez A., Harbron R.W., Kesminiene A. Cohort Profile: the EPI-CT Study: a European Pooled Epidemiological Study to Quantify the Risk of Radiation-Induced Cancer from Paediatric CT // *International Journal of Epidemiology*. 2019. V.48, No. 2. P. 379-381g. doi: 10.1093/ije/dyy231.
13. Shore R.E., Beck H.L., Boice J.D., Caffrey E.A., Davis S., Grogan H.A., Mettler F.A., Preston R.J., Till J.E., Wakeford R., Walsh L., Dauer L.T. Implications of Recent Epidemiologic Studies for the Linear Nonthreshold Model and Radiation Protection // *Journal of Radiological Protection*. 2018. V.38, No. 3. P. 1217-1233. doi: 10.1088/1361-6498/aad348.
14. Walsh L., Shore R., Auvinen A., Jung T., Wakeford R. Risks from CT Scans-What Do Recent Studies Tell Us? // *Journal of Radiologi-*

- cal Protection. 2014. V.34, No. 1. P. E1-5. doi: 10.1088/0952-4746/34/1/E1.
15. Boice J.D.Jr. Radiation Epidemiology and Recent Paediatric Computed Tomography Studies // *Ann ICRP*. 2015. V.44, No. 1 Suppl. P. 236-248. doi: 10.1177/0146645315575877.
 16. Фомин Е.П., Осипов М.В., Бабинцева Н.А., Синяк Е.В. Результаты наблюдения за пациентами, обследованными на КТ и МСКТ в детском и подростковом возрасте // *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018. Т.8, № 1. С. 137-144. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-1-137-144.
 17. Петрайкин А.В., Разумовский А.Ю., Ублинский М.В., Сиденко А.В., Гурьяков С.Ю., Горохов Д.В. Мультиспиральная компьютерная томография с контрастным усилением в диагностике хирургических заболеваний органов грудной полости у детей // *Детская хирургия*. 2013. № 4. С. 9-15.
 18. Дружинина П.С., Поздняков А.В., Капырина Ю.Н., Иванов Д.О., Петренко Ю.В., Пузырев В.Г. Сравнительная оценка эффективных доз облучения детей при проведении КТ-исследований органов грудной клетки // *Радиационная гигиена*. 2021. Т.14, № 3. С. 91-100. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-91-100.
 19. Капырина Ю.Н., Дружинина П.С. Оценка доз облучения детей при проведении компьютерной томографии на примере педиатрической многопрофильной клиники // *Материалы конференции: Children's Medicine of the North-West*. СПб., 2021. Т.9, №1. С. 427-428.
 20. Vilar-Palop J., Vilar J., Hernández-Aguado I., González-Álvarez I., Lumberras B. Updated Effective Doses in Radiology // *J. Radiol. Prot.* 2016. V.36, No. 4. P. 975-990. doi: 10.1088/0952-4746/36/4/975.
 21. Olgar T., Sahmaran T. Establishment of Radiation Doses For Pediatric X-Ray Examinations in a Large Pediatric Hospital in Turkey // *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2017. V.176, No. 3. P. 302-308. doi: 10.1093/rpd/ncx010.
 22. Gogos K.A., Yakoumakis E.N., Tsalafoutas I.A., Makri T.K. Radiation Dose Considerations in Common Paediatric X-Ray Examinations // *Pediatr Radiol*. 2003. V.33, No. 4. P. 236-240. doi: 10.1007/s00247-002-0861-x.
 23. Shatskiy I., Golikov V. Paediatric Doses in St Petersburg Hospitals // *Radiat Prot Dosimetry*. 2015. V.165, No. 1-4. P. 199-204. doi: 10.1093/rpd/ncv066.
 24. Sorop I., Mossang D., Iacob M.R., Dadulescu E., Iacob O. Update of Diagnostic Medical and Dental X-Ray Exposures in Romania // *J. Radiol. Prot.* 2008. V.28, No. 4. P. 563-571. doi: 10.1088/0952-4746/28/4/008.
 25. Kiljunen T., Tietäväinen A., Parviainen T., Viitala A., Kortensniemi M. Organ Doses and Effective Doses in Pediatric Radiography: Patient-Dose Survey in Finland // *Acta Radiol*. 2009. V.50, No. 1. P. 114-124. doi: 10.1080/02841850802570561.
 26. Вишнякова Н.М. Референтные диагностические уровни облучения детей при рентгенологических исследованиях // *Вестник Российской военной-медицинской академии*. 2010. № 3. С. 170-174.
 27. Brady Z., Ramanauskas F., Cain T.M., Johnston P.N. Assessment of Paediatric CT Dose Indicators for The Purpose of Optimisation // *Br. J. Radiol*. 2012. V.85, No. 1019. P. 1488-1498. doi: 10.1259/bjr/28015185.
 28. Obara H., Takahashi M., Kudou K., Mariya Y., Takai Y., Kashiwakura I. Estimation of Effective Doses in Pediatric X-Ray Computed Tomography Examination // *Exp. Ther. Med*. 2017. V.14, No. 5. P. 4515-4520. doi: 10.3892/etm.2017.5102.
 29. Mordacq C., Deschilde A., Petyl L., Santangelo T., Delvart C., Doan C., Thumerelle C. Tomodensitométrie thoracique chez L'enfant: un Examen Utile Mais Irradiant // *Arch. Pediatr*. 2014. V.21, No. 3. P. 279-286. doi: 10.1016/j.arcped.2013.12.021.
 30. Gudjonsdottir J., Jonsdottir A.B. Effective Dose from Pediatric CT In Iceland // *Laeknabladid*. 2017. V.103, No. 11. P. 489-492. doi: 10.17992/lbl.2017.11.160.
 31. Matsunaga Y., Kawaguchi A., Kobayashi K., Kobayashi M., Asada Y., Minami K., Suzuki S., Chida K. Effective Radiation Doses of CT Examinations In Japan: a Nationwide Questionnaire-Based Study // *Br. J. Radiol*. 2016. V.89, No. 1058. P. 20150671. doi: 10.1259/bjr.20150671.
 32. Tahmasebzadeh A., Maziyar A., Reiazi R., Kermanshahi M.S., Anijdan S.H.M., Paydar R. Pediatric Effective Dose Assessment for Routine Computed Tomography Examinations in Tehran, Iran // *J. Med. Signals Sens*. 2022. V.12, No. 3. P. 227-232. doi: 10.4103/jmss.jmss_115_21.
 33. Feng S.T., Law M.W., Huang B., Ng S., Li Z.P., Meng Q.F., Khong P.L. Radiation Dose and Cancer Risk from Pediatric CT Examinations on 64-Slice CT: a Phantom Study // *Eur. J. Radiol*. 2010. V.76, No. 2. P. e19-23. doi: 10.1016/j.ejrad.2010.03.005.
 34. Kharbanda A.B., Krause E., Lu Y., Blumberg K. Analysis of Radiation Dose to Pediatric Patients During Computed Tomography Examinations // *Acad. Emerg. Med*. 2015. V.22, No. 6. P. 670-675. doi: 10.1111/acem.12689.
 35. Tan X.M., Shah M.T.B.M., Chong S.L., Ong Y.G., Ang P.H., Zakaria N.D.B., Lee K.P., Pek J.H. Differences in Radiation Dose for Computed Tomography of the Brain Among Pediatric Patients at the Emergency Departments: An Observational Study // *BMC Emerg. Med*. 2021. V.21, No. 1. P. 106. doi: 10.1186/s12873-021-00502-7.
 36. Smith-Bindman R., Moghaddasi M., Wilson N., Nelson T.R., Boone J.M., Cagnon C.H., Gould R., Hall D.J., Krishnam M., Lamba R., McNitt-Gray M., Seibert A., Miglioretti D.L. Radiation Doses in Consecutive CT Examinations from Five University of California Medical Centers // *Radiology*. 2015. V.277, No. 1. P. 134-141. doi: 10.1148/radiol.2015142728.
 37. Dougeni E., Faulkner K., Panayiotakis G. A Review of Patient Dose and Optimisation Methods in Adult and Paediatric CT Scanning // *Eur. J. Radiol*. 2012. V.81, No. 4. P. e665-683. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.05.025.
 38. Shrimpton P.C., Hillier M.C., Lewis M.A., Dunn M. National Survey of Doses from CT in the UK: 2003 // *Br. J. Radiol*. 2006. V.9, No. 948. P. 968-980. doi: 10.1259/bjr/93277434.
 39. Сарычева С.С. Оценка эффективной дозы у детей в интервенционной кардиологии // *Радиационная гигиена*. 2017. Т.10, № 2. С. 16-22.
 40. Голиков В.Ю. Оценка радиационного риска, обусловленного проведением медицинских исследований в Российской Федерации с учетом половозрастного состава пациентов // *Радиационная гигиена*. 2022. Т.15, № 1. С. 59-67.
 41. Капырина Ю.Н., Водоватов А.В., Потрахов Н.Н., Пузырев В.Г., Комиссаров М.И., Резник В.А., Петренко Ю.В. Оценка эффективных доз для некоторых интервенционных исследований у детей // VIII Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники, 25 – 26 ноября 2021. СПб., 2021. С. 58-62.
 42. Капырина Ю. Н., Водоватов А. В., Пузырев В. Г., Комиссаров М. И., Алешин И. Ю. Оценка эффективных доз облучения детей при выполнении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен // *Лучевая диагностика и терапия*. 2022. № С. 166-167.
 43. Капырина Ю. Н., Комиссаров М. И., Алешин И. Ю., Водоватов А. В., Пузырев В.Г. Оценка эффективных доз детей при проведении интервенционных вмешательств в многопрофильной клинике СПбГПМУ // *FORCIPE*. 2022. Т.5, Спецвыпуск 1. С. 244-246.
 44. Капырина Ю.Н., Водоватов А.В., Пузырев В.Г., Комиссаров М.И., Алешин И.Ю. Оценка эффективных доз детей при проведении интервенционных исследований // *Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное образование: новые вызовы и пути развития»*, посвященной 65-летию кафедры радиационной гигиены и радиационной безопасности имени академика Ф.Г. Кроткова, 27 октября 2022. М., 2022. С. 45-48.
 45. Ubeda C., Vano E., Salazar L., Retana, Santos F., Gutierrez R., Manterola C. Paediatric Interventional Cardiology in Costa Rica: Diagnostic Reference Levels and Estimation of Population Dose // *J. Radiol. Prot.* 2018. V.38, No. 1. P. 218-228. doi: 10.1088/1361-6498/aa9c09.
 46. 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? // *Phys. Med*. 2019. No. 57. P. 17-24. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.12.008.
 47. Ubeda C., Miranda P., Vano E., Nocetti D., Manterola C. Organ and Effective Doses from Paediatric Interventional Cardiology Procedures in Chile // *Phys. Med*. 2017. No. 40. P. 95-103. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.07.015.
 48. Song S., Liu C., Zhang M. Radiation Dose and Mortality Risk to Children Undergoing Therapeutic Interventional Cardiology // *Acta Radiol*. 2015. V.56, No. 7. P. 867-872. doi: 10.1177/0284185114542459.
 49. Raelson C.A., Kanal K.M., Vavilala M.S., Rivara F.P., Kim L.J., Stewart B.K., Cohen W.A. Radiation Dose and Excess Risk of Cancer in Children Undergoing Neuroangiography // *AJR Am. J. Roentgenol*. 2009. V.193, No. 6. P. 1621-1628. doi: 10.2214/AJR.09.2352.
 50. Gherardi G.G., Iball G.R., Darby M.J., Thomson J.D. Cardiac Computed Tomography and Conventional Angiography in the Diagnosis of Congenital Cardiac Disease in Children: Recent Trends and Radiation Doses // *Cardiol. Young*. 2011. V.21, No. 6. P. 616-622. doi: 10.1017/S1047951111000485.
 51. Barnaoui S., Rehel J.L., Baysson H., Boudjemline Y., Girodon B., Bernier M.O., Bonnet D., Aubert B. Local Reference Levels and Organ Doses from Pediatric Cardiac Interventional Procedures // *Pediatr Cardiol*. 2014. V.35, No. 6. P. 1037-1045. doi: 10.1007/s00246-014-0895-5.
 52. Buytaert D., Vandekerckhove K., Panzer J., Rubbens L., De Wolf D., Bacher K. Local DRLs and Automated Risk Estimation in Paediatric Interventional Cardiology // *PLoS One*. 2019. V.14, No. 7. P. e0220359. doi: 10.1371/journal.pone.0220359.

53. Billinger J., Nowotny R., Homolka P. Diagnostic Reference Levels in Pediatric Radiology in Austria // *Eur. Radiol.* 2010. V.20, No. 7. P. 1572-1579. doi: 10.1007/s00330-009-1697-7.
54. Suliman I.I., Elshiekh E.H. Radiation Doses from Some Common Paediatric X-Ray Examinations in Sudan // *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2008. V.132, No. 1. P. 64-72. doi: 10.1093/rpd/ncn232.
55. Gao Y., Quinn B., Pandit-Taskar N., Behr G., Mahmood U., Long D., Xu X.G., St. Germain J., Dauer L.T. Patient-Specific Organ and Effective Dose Estimates in Pediatric Oncology Computed Tomography // *Phys. Med.* 2018. No. 45. P. 146-155. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.12.013.
56. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Чипига Л.А.,

- Звонова И.А., Кальницкий С.А., Сарычева С.С., Шацкий И.Г. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Т.1 // *Лучевая диагностика.* СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2019. 320 с.
57. Дружинина П.С., Чипига Л.А., Шацкий И.Г., Водоватов А.В., Поздняков А.В., Пузырев В.Г., Тащилин А.И., Маликов Д.А., Потрахов Н.Н., Потрахов Ю.Н. Оптимизация протоколов компьютерно томографических исследований для новорожденных пациентов на примере фантомного исследования с компьютерным томографом Ingenuity 128, Philips // *Медицинская физика.* 2022. № 4. С. 43.

REFERENCES

1. Lambert J.W., Phelps A.S., Courtier J.L., Gould R.G., MacKenzie J.D. Image Quality and Dose Optimisation for Infant CT Using a Paediatric Phantom. *European Radiology.* 2016;26;5:1387-95. DOI 10.1007/s00330-015-3951-5.
2. Strauss K.J., Goske M.J., Kaste S.C., Bulas D., Frush D.P., Butler P., Morrison G., Callahan M.J., Applegate K.E. Image Gently: Ten Steps You Can Take to Optimize Image Quality and Lower CT Dose for Pediatric Patients. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2010;194;4:868-873. DOI: 10.2214/AJR.09.4091.
3. IAEA. Dosimetry in Diagnostic Radiology for Paediatric Patients. IAEA Human Health Series No. 24. Vienna, 2014. 160 p.
4. Golikov V.Yu., Vodovатов A.V., Chipiga L.A., Shatskiy I.G. Evaluation of Radiation Risk for Patients Undergoing Medical Examinations in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gigiyena = Radiation Hygiene.* 2021;14;3:56-68. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68>. (In Russ.).
5. IAEA. Radiation Protection in Paediatric Radiology. Safety Reports Series No. 71. Vienna. 2013. 111 p.
6. Thierry-Chef I., Ferro G., Le Cornet L., Dabin J., Istad T.S., Jahn A., Lee C., Maccia C., Malchair F., Olerud H.M., Harbron R.W., Figueroa J., Hermen J., Moissonnier M., Bernier M.O., Bosch de Basea M.B., Byrnes G., Cardis E., Hauptmann M., Journy N., Kesminiene A., Meulepas J.M., Pokora R., Simon S.L. Dose Estimation for the European Epidemiological Study on Pediatric Computed Tomography (EPI-CT). *Radiation Research.* 2021;196;1:74-99. doi: 10.1667/RADE-20-00231.1.
7. Bosch de Basea M., Pearce M.S., Kesminiene A., Bernier M.O., Dabin J., Engels H., Hauptmann M., Krille L., Meulepas J.M., Struelens L., Baatout S., Kaijser M., Maccia C., Jahn A., Thierry-Chef I., Blettner M., Johansen C., Kjaerheim K., Nordenskjöld A., Olerud H., Salotti J.A., Andersen T.V., Vrijheid M., Cardis E. EPI-CT: Design, Challenges and Epidemiological Methods of an International Study on Cancer Risk After Paediatric and Young Adult CT. *J. Radiol. Prot.* 2015;35;3:611-628. doi: 10.1088/0952-4746/35/3/611.
8. Berrington de Gonzalez A., Salotti J.A., McHugh K., Little M.P., Harbron R.W., Lee C., Ntwe E., Braganza M.Z., Parker L., Rajaraman P., Stiller C., Stewart D.R., Craft A.W., Pearce M.S. Relationship Between Paediatric CT Scans and Subsequent Risk of Leukaemia and Brain Tumours: Assessment of the Impact of Underlying Conditions. *British Journal of Cancer.* 2016;114;4:388-394. doi: 10.1038/bjc.2015.415.
9. Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P., McHugh K., Lee C., Kim K.P., Howe N.L., Ronckers C.M., Rajaraman P., Sir Craft A.W., Parker L., Berrington de Gonzalez A. Radiation Exposure from CT Scans in Childhood and Subsequent Risk of Leukaemia and Brain Tumours: a Retrospective Cohort Study. *Lancet.* 2012;380;9840:499-505. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
10. Mathews J.D., Forsythe A.V., Brady Z., Butler M.W., Goergen S.K., Byrnes G.B., Giles G.G., Wallace A.B., Anderson P.R., Guiver T.A., McGale P., Cain T.M., Dowty J.G., Bickerstaffe A.C., Darby S.C. Cancer Risk in 680,000 People Exposed to Computed Tomography Scans in Childhood or Adolescence: Data Linkage Study of 11 Million Australians. *BMJ.* 2013;346:f2360. doi: 10.1136/bmj.f2360.
11. Huang W.Y., Muo C.H., Lin C.Y., Jen Y.M., Yang M.H., Lin J.C., Sung F.C., Kao C.H. Paediatric Head CT Scan and Subsequent Risk of Malignancy and Benign Brain Tumour: a Nation-Wide Population-Based Cohort Study. *British Journal of Cancer.* 2014;110;9:2354-2360. doi: 10.1038/bjc.2014.103.
12. Bernier M.O., Baysson H., Pearce M.S., Moissonnier M., Cardis E., Hauptmann M., Struelens L., Dabin J., Johansen C., Journy N., Laurier D., Blettner M., Le Cornet L., Pokora R., Gradowska P., Meulepas J.M., Kjaerheim K., Istad T., Olerud H., Sovik A., Bosch de Basea M., Thierry-Chef I., Kaijser M., Nordenskjöld A., Berrington de Gonzalez A., Harbron R.W., Kesminiene A. Cohort Profile: the EPI-CT Study: a European Pooled Epidemiological Study to Quantify the Risk of Radiation-Induced Cancer from Paediatric CT. *International Journal of Epidemiology.* 2019;48;2:379-381g. doi: 10.1093/ije/dyy231.
13. Shore R.E., Beck H.L., Boice J.D., Caffrey E.A., Davis S., Grogan H.A., Mettler F.A., Preston R.J., Till J.E., Wakeford R., Walsh L., Dauer L.T. Implications of Recent Epidemiologic Studies for the Linear Nonthreshold Model and Radiation Protection. *Journal of Radiological Protection.* 2018;38;3:1217-1233. doi: 10.1088/1361-6498/aad348.
14. Walsh L., Shore R., Auvinen A., Jung T., Wakeford R. Risks from CT Scans-What Do Recent Studies Tell Us? *Journal of Radiological Protection.* 2014;34;1:E1-5. doi: 10.1088/0952-4746/34/1/E1.
15. Boice J.D.Jr. Radiation Epidemiology and Recent Paediatric Computed Tomography Studies. *Ann ICRP.* 2015;44;1 Suppl:236-248. doi: 10.1177/0146645315575877.
16. Fomin E.P., Osipov M.V., Babintseva N.A., Sinyak E.V. Results of Follow-Up on Patients Examined Using CT and MSCT in Childhood and Adolescence. *Rossiyskiy Elektronnyy Zhurnal Luchevoy Diagnostiki = Russian Electronic Journal of Radiology.* 2018;8;1:137-144. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-1-137-144 (In Russ.).
17. Petryaykin A.V., Razumovskiy A.Yu., Ublinskiy M.V., Sidenko A.V., Gur'yakov S.Yu., Gorokhov D.V. Contrast-Enhanced Multispiral Computed Tomography in Diagnostics of Surgical Diseases of the Thoracic Cavity in Children. *Detskaya Khirurgiya = Russian Journal of Pediatric Surgery.* 2013;4:9-15 (In Russ.).
18. Druzhinina P.S., Pozdnyakov A.V., Kapyrina Yu.N., Ivanov D.O., Petrenko Yu.V., Puzyrev V.G. Comparison of Methods for Calculating Effective Doses for Children During CT Examinations of the Chest Organs. *Radiatsionnaya Gigiyena = Radiation Hygiene.* 2021;14;3:91-100. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-91-100 (In Russ.).
19. Kapyrina Yu.N., Druzhinina P.S. Assessment of Radiation Doses of Children During Computed Tomography on the Example of a Pediatric Multidisciplinary Clinic. *Conference Proceedings: Children's Medicine of the North-West.* St. Petersburg Publ., 2021;9;1:427-428 (In Russ.).
20. Vilar-Palop J., Vilar J., Hernández-Aguado I., González-Álvarez I., Lumbrales B. Updated Effective Doses in Radiology. *J. Radiol. Prot.* 2016;36;4:975-990. doi: 10.1088/0952-4746/36/4/975.
21. Olgar T., Sahmaran T. Establishment of Radiation Doses For Pediatric X-Ray Examinations in a Large Pediatric Hospital in Turkey. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2017;176;3:302-308. doi: 10.1093/rpd/ncx010.
22. Gogos K.A., Yakoumakis E.N., Tsalaftoutas I.A., Makri T.K. Radiation Dose Considerations in Common Paediatric X-Ray Examinations. *Pediatr Radiol.* 2003;33;4:236-240. doi: 10.1007/s00247-002-0861-x.
23. Shatskiy I., Golikov V. Paediatric Doses in St Petersburg Hospitals. *Radiat Prot Dosimetry.* 2015;165;1-4:199-204. doi: 10.1093/rpd/ncv066.
24. Sorop I., Mossang D., Iacob M.R., Dadulescu E., Iacob O. Update of Diagnostic Medical and Dental X-Ray Exposures in Romania. *J. Radiol. Prot.* 2008;28;4:563-571. doi: 10.1088/0952-4746/28/4/008.
25. Kiljunen T., Tietäväinen A., Parviainen T., Viitala A., Kortensniemi M. Organ Doses and Effective Doses in Pediatric Radiography: Patient-Dose Survey in Finland. *Acta Radiol.* 2009;50;1:114-124. doi: 10.1080/02841850802570561.
26. Vishnyakova N.M. Dose Reference Levels for the Child Exposure Under X-Ray Examinations. *Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii = Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2010;3;31:170-174 (In Russ.).
27. Brady Z., Ramanauskas F., Cain T.M., Johnston P.N. Assessment of Paediatric CT Dose Indicators for The Purpose of Optimisation. *Br. J. Radiol.* 2012;85;1019:1488-1498. doi: 10.1259/bjr/28015185.
28. Obara H., Takahashi M., Kudou K., Mariya Y., Takai Y., Kashiwakura I. Estimation of Effective Doses in Pediatric X-Ray Computed Tomography Examination. *Exp. Ther. Med.* 2017;14;5:4515-4520. doi: 10.3892/etm.2017.5102.
29. Mordacq C., Deschildre A., Petyt L., Santangelo T., Delvart C., Doan C., Thumerelle C. Chest Computed Tomography in Children: Indications, Efficiency and Effective Dose. *Arch. Pediatr.* 2014;21;3:279-286. (French). doi: 10.1016/j.arcped.2013.12.021.
30. Gudjonsson J., Jonsdottir A.B. Effective Dose from Pediatric CT in Iceland. *Laeknabladid.* 2017;103;11:489-492. doi: 10.17992/lbl.2017.11.160.
31. Matsunaga Y., Kawaguchi A., Kobayashi K., Kobayashi M., Asada Y., Minami K., Suzuki S., Chida K. Effective Radiation Doses of CT Examinations In Japan: a Nationwide Questionnaire-Based Study. *Br. J. Radiol.* 2016;89;1058:20150671. doi: 10.1259/bjr.20150671.
32. Tahmasebzadeh A., Maziyar A., Reiazzi R., Kermanshahi M.S., Anijdan S.H.M., Paydar R. Pediatric Effective Dose Assessment for Routine

- Computed Tomography Examinations in Tehran, Iran. J. Med. Signals Sens. 2022;12;3:227-232. doi: 10.4103/jmss.jmss_115_21.
33. Feng S.T., Law M.W., Huang B., Ng S., Li Z.P., Meng Q.F., Khong P.L. Radiation Dose and Cancer Risk from Pediatric CT Examinations on 64-Slice CT: a Phantom Study. Eur. J. Radiol. 2010;76;2:e19-23. doi: 10.1016/j.ejrad.2010.03.005.
 34. Kharbanda A.B., Krause E., Lu Y., Blumberg K. Analysis of Radiation Dose to Pediatric Patients During Computed Tomography Examinations. Acad. Emerg. Med. 2015;22;6:670-675. doi: 10.1111/acem.12689.
 35. Tan X.M., Shah M.T.B.M., Chong S.L., Ong Y.G., Ang P.H., Zakaria N.D.B., Lee K.P., Pek J.H. Differences in Radiation Dose for Computed Tomography of the Brain Among Pediatric Patients at the Emergency Departments: An Observational Study. BMC Emerg. Med. 2021;21;1:106. doi: 10.1186/s12873-021-00502-7.
 36. Smith-Bindman R., Moghadassi M., Wilson N., Nelson T.R., Boone J.M., Cagnon C.H., Gould R., Hall D.J., Krishnam M., Lamba R., McNitt-Gray M., Seibert A., Miglioretti D.L. Radiation Doses in Consecutive CT Examinations from Five University of California Medical Centers. Radiology. 2015;277;1:134-141. doi: 10.1148/radiol.2015142728.
 37. Dougeni E., Faulkner K., Panayiotakis G. A Review of Patient Dose and Optimisation Methods in Adult and Paediatric CT Scanning. Eur. J. Radiol. 2012;81;4:e665-83. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.05.025.
 38. Shrimpton P.C., Hillier M.C., Lewis M.A., Dunn M. National Survey of Doses from CT in the UK: 2003. Br. J. Radiol. 2006;79;948:968-980. doi: 10.1259/bjr/93277434.
 39. Sarycheva S.S. Estimation of Effective Dose for Children in Interventional Cardiology. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2017;10;2:16-22 (In Russ.).
 40. Golikov V.Yu. Evaluation of the Radiation Risk of Medical Examinations in the Russian Federation Taking into Account the Age and Sex Distribution of the Patients. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2022;15;1:59-67 (In Russ.).
 41. Kapyrina Yu.N., Vodovatov A.V., Potrakhov N.N., Puzyrev V.G., Komissarov M.I., Reznik V.A., Petrenko Yu.V. Evaluation of Effective Doses for Some Interventional Examination in Children. 8th International Conference on X-ray, Electrovacuum and Biomedical Technique, 25 – 26 November 2021. St. Petersburg Publ., 2021. P. 58-62 (In Russ.).
 42. Kapyrina Yu.N., Vodovatov A.V., Puzyrev V.G., Komissarov M.I., Aleshin I.J. Evaluation of Effective Radiation Doses in Children During X-Ray Endovascular Occlusion of Testicular Vein. *Luchevaya Diagnostika i Terapiya* = Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2022;S;13:166-167 (In Russ.).
 43. Kapyrina Yu.N., Komissarov M.I., Aleshin I.J., Vodovatov A.V., Puzyrev V.G. Evaluation of Effective Doses of Children During Interventional Examination in the Multidisciplinary Clinic of SPbSPMU. *Forcipe*. 2022;5;1:244-246 (In Russ.).
 44. Kapyrina Yu.N., Vodovatov A.V., Puzyrev V.G., Komissarov M.I., Aleshin I.J. Evaluation of Effective Doses of Children During Interventional Examination. Collection of Abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation Radiation Hygiene and Continuing Professional Education: New Challenges and Ways of Development Dedicated to the 65th Anniversary of the Department of Radiation Hygiene and Radiation Safety named after Academician F.G. Krotkov, 27 October 2022. Moscow Publ., 2022. P. 45-48 (In Russ.).
 45. Ubeda C., Vano E., Salazar L., Retana, Santos F., Gutierrez R., Manterola C. Paediatric Interventional Cardiology in Costa Rica: Diagnostic Reference Levels and Estimation of Population Dose. J. Radiol. Prot. 2018;38;1:218-228. doi: 10.1088/1361-6498/aa9c09.
 46. 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? Phys. Med. 2019;57:17-24. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.12.008.
 47. Ubeda C., Miranda P., Vano E., Nocetti D., Manterola C. Organ and Effective Doses from Paediatric Interventional Cardiology Procedures in Chile. Phys. Med. 2017;40:95-103. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.07.015.
 48. Song S., Liu C., Zhang M. Radiation Dose and Mortality Risk to Children Undergoing Therapeutic Interventional Cardiology. Acta Radiol. 2015;56;7:867-872. doi: 10.1177/0284185114542459.
 49. Raelson C.A., Kanal K.M., Vavilala M.S., Rivara F.P., Kim L.J., Stewart B.K., Cohen W.A. Radiation Dose and Excess Risk of Cancer in Children Undergoing Neuroangiography. A.J.R. Am. J. Roentgenol. 2009;193;6:1621-1628. doi: 10.2214/AJR.09.2352.
 50. Gherardi G.G., Iball G.R., Darby M.J., Thomson J.D. Cardiac Computed Tomography and Conventional Angiography in the Diagnosis of Congenital Cardiac Disease in Children: Recent Trends and Radiation Doses. Cardiol Young. 2011;21;6:616-622. doi: 10.1017/S1047951111000485.
 51. Barnaoui S., Rehel J.L., Baysson H., Boudjemline Y., Girodon B., Bernier M.O., Bonnet D., Aubert B. Local Reference Levels and Organ Doses from Pediatric Cardiac Interventional Procedures. Pediatr Cardiol. 2014;35;6:1037-1045. doi: 10.1007/s00246-014-0895-5.
 52. Buytaert D., Vandekerckhove K., Panzer J., Rubbens L., De Wolf D., Bacher K. Local DRLs and Automated Risk Estimation in Paediatric Interventional Cardiology. PLoS One. 2019;14;7:e0220359. doi: 10.1371/journal.pone.0220359.
 53. Billinger J., Nowotny R., Homolka P. Diagnostic Reference Levels in Pediatric Radiology in Austria. Eur. Radiol. 2010;20;7:1572-1579. doi: 10.1007/s00330-009-1697-7.
 54. Suliman I.I., Elshiekh E.H. Radiation Doses from Some Common Paediatric X-Ray Examinations in Sudan. Radiat. Prot. Dosimetry. 2008;132;1:64-72. doi: 10.1093/rpd/ncn232.
 55. Gao Y., Quinn B., Pandit-Taskar N., Behr G., Mahmood U., Long D., Xu X.G., St. Germain J., Dauer L.T. Patient-Specific Organ and Effective Dose Estimates in Pediatric Oncology Computed Tomography. Phys. Med. 2018;45:146-155. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.12.013.
 56. Balonov M.I., Golikov V.Yu., Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Zvonova I.A., Kalnitskiy S.A., Sarycheva S.S., Shatskiy I.G. Scientific Foundations of Radiation Protection in Modern Medicine. V.1. Radiation Diagnostics. St. Petersburg Publ., 2019. 320 p. (In Russ.).
 57. Druzhinina P.S., Chipiga L.A., Shatskiy I.G., Vodovatov A.V., Pozdnyakov A.V., Puzyrev V.G., Tashchilkin A.I., Malikov D.A., Potrakhov N.N., Potrakhov Yu.N. Optimization of CT Protocols for Newborn Patients by Ingenuity 128, Philips. A Phantom Study. *Meditsinskaya Fizika* = Medical Physics. 2022;4:43 (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.07.2023. **Принята к публикации:** 27.08.2023.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.07.2023. **Accepted for publication:** 27.08.2023.