

## Сравнение методов расчета эффективных доз облучения детей при проведении КТ-исследований органов грудной клетки

П.С. Дружинина<sup>1</sup>, А.В. Поздняков<sup>2</sup>, Ю.Н. Капырина<sup>2</sup>, Д.О. Иванов<sup>2</sup>, Ю.В. Петренко<sup>2</sup>, В.Г. Пузырев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

*Компьютерная томография — метод лучевой диагностики, ассоциированный с относительно высокими дозами облучения пациентов. Компьютерная томография активно используется для диагностики в педиатрии, однако достоверные данные о дозах пациентов-детей на сегодняшний день в Российской Федерации отсутствуют. В статье представлены результаты сбора данных антропометрических характеристик групп пациентов-детей со средним возрастом 5 (2–6), 10 (7–11) и 15 (12–16) лет, а также результаты сравнительной оценки эффективных доз этих пациентов при проведении компьютерно-томографических исследований органов грудной клетки, в том числе доз, скорректированных по массе тела и эффективному диаметру пациентов. Данные для исследования были собраны на базе компьютерно-томографического отделения Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. За период с января по декабрь 2020 г. были собраны данные о 79 компьютерно-томографических исследованиях органов грудной клетки без контраста, выполненных трем группам детей со средним возрастом: 5, 10 и 15 лет. При сравнении эффективных доз, рассчитанных по методическим указаниям 2.6.1.3584–19, и доз, скорректированных по массе тела и эффективному диаметру пациентов, в среднем дозы отличались на 7,1% (максимально 65%). Наиболее высокие отклонения наблюдались у пациентов с аномально большой или аномально малой массой тела. При сравнении эффективных доз, определенных по методическим указаниям 2.6.1.3584–19, и доз, рассчитанных с использованием программного обеспечения NCICT 3.0, дозы, рассчитанные с помощью NCICT 3.0, были выше доз, рассчитанных по методическим указаниям 2.6.1.3584–19, в среднем на 18% (максимально — 53%). Такие различия объясняются тем, что в методических указаниях 2.6.1.3584–19 коэффициенты перехода представлены для наиболее распространенных параметров протоколов сканирования, а в NCICT 3.0 при расчете учитывались индивидуальные параметры сканирования для каждого пациента, которые могут отличаться от представленных в методических указаниях 2.6.1.3584–19. При сравнении доз, скорректированных по массе тела и эффективному диаметру пациентов, и доз, рассчитанных с помощью NCICT 3.0, в среднем дозы, рассчитанные по NCICT 3.0, были выше на 32% (максимально — 70%). Такая разница может быть объяснена как выраженными особенностями антропометрических данных отдельных пациентов из общей выборки, так и использованием разных типов фантомов: стилизованный фантом (Golikov et al) и воксельный в NCICT 3.0.*

**Ключевые слова:** компьютерная томография, пациенты-дети, эффективные дозы, антропометрические характеристики.

### Введение

На сегодняшний день компьютерная томография (КТ) является одним из наиболее информативных методов лучевой диагностики, широко применяющимся для диагностики как взрослых пациентов, так и пациентов-детей. КТ ассоциирована со значительными индивидуальными дозами облучения пациентов [1]. Число КТ-исследований в Российской Федерации с каждым годом растет с пропорциональным увеличением коллек-

тивной дозы от данного вида исследований. Кроме того, в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в связи с недостаточной чувствительностью и длительностью выполнения методов лабораторной диагностики компьютерная томография в Российской Федерации стала основным методом ранней, первичной диагностики COVID-19, в том числе в педиатрии, за счет возможности предположить диагноз вирусной пневмонии, вызванной COVID-19, быстро оценить объ-

**Дружинина Полина Сергеевна**

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

**Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

ем поражения легочной ткани, степень тяжести и стадию изменений<sup>1,2,3,4</sup>.

При этом в Российской Федерации отсутствует достоверная информация по уровням облучения пациентов-детей. Так, при заполнении формы № 3-ДОЗ системы ЕСКИД<sup>5</sup>, являющейся единственным централизованным источником информации по дозам облучения пациентов, исследования, выполненные детям, отдельно не учитываются. Отечественные публикации, посвященные исследованиям доз облучения детей при проведении рентгенорадиологических исследований, в том числе и компьютерной томографии, практически отсутствуют.

В зарубежных странах особое внимание уделяется радиационной защите пациентов-детей при проведении КТ-исследований, включающей в себя сбор и анализ данных об уровнях облучения детей, оценку типичных доз пациентов-детей, установление и использование референтных диагностических уровней в качестве инструмента оптимизации [1–9, 20–24]. Данные меры обуславливаются тем, что дети являются наиболее чувствительной категорией населения к воздействию ионизирующего излучения [4].

Одной из особенностей оценки доз облучения у детей является широкий диапазон их антропометрических характеристик (рост, масса тела, телосложение и прочие производные показатели), что обуславливает вариативность доз облучения индивидуальных пациентов.

В зарубежной практике активно разрабатываются и внедряются в практику методы оценки доз пациентов-детей, учитывающие их антропометрические характеристики [2–4]. В отечественной же практике на данный момент существующая методика оценки эффективных доз детей предполагает использование коэффициентов перехода, учитывающих лишь возраст пациента<sup>6</sup>. Тем не менее, и в

Российской Федерации постепенно начинают разрабатываться подходы к оценке доз детей, которые бы учитывали их антропометрические характеристики [10].

**Цель исследования** – рассмотреть и сравнить существующие методы расчёта эффективных доз детей со средним возрастом 5, 10 и 15 лет при проведении КТ-исследований органов грудной клетки, в том числе эффективных доз, скорректированных с учетом антропометрических характеристик: массы тела и эффективного диаметра пациентов (далее –  $E_{кор}$ ); массы тела и роста пациентов (далее –  $E_{NCICT}$ ).

Для этого по результатам сбора данных в КТ-отделении была выполнена оценка влияния антропометрических характеристик детей на их дозовые характеристики и определены дозы облучения с использованием трех методов – с учетом возраста, массы тела пациента и его эффективного диаметра ( $E_{кор}$ ), а также с использованием специализированного программного обеспечения NCICT 3.0 ( $E_{NCICT}$ ).

### Материалы и методы

Данные для исследования были собраны на базе КТ-отделения Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета.

За период с января по декабрь 2020 г. были собраны данные о 79 КТ-исследованиях органов грудной клетки (ОГК) без контраста, выполненных 3 группам детей со средним возрастом: 5, 10 и 15 лет. Данная выборка была отобрана случайным образом из общего массива детей, которым были выполнены КТ-исследования в данный период. Распределение выборки пациентов по возрасту представлено в таблице 1.

<sup>1</sup> Временные методические рекомендации профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19) Версия 7 (03.06.2020) Министерство здравоохранения Российской Федерации [https://static0.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/584/original/03062020\\_%D0%9CR\\_COVID-19\\_v7.pdf](https://static0.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/584/original/03062020_%D0%9CR_COVID-19_v7.pdf) [Temporary guidelines for the prevention, diagnosis and treatment of a novel coronavirus infection (covid-19) Version 7 (06/03/2020) Ministry of Health of the Russian Federation [https://static0.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/584/original/03062020\\_%D0%9CR\\_COVID-19\\_v7.pdf](https://static0.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/584/original/03062020_%D0%9CR_COVID-19_v7.pdf) (In Russ.)]

<sup>2</sup> Методические рекомендации, алгоритмы действия медицинских работников на различных этапах оказания помощи, чек-листы и типовые документы, разработанные на период наличия и угрозы дальнейшего распространения новой коронавирусной инфекции в Санкт-Петербурге. Версия 2.0 от 10.06.2020 [https://spbmiac.ru/wp-content/uploads/2020/06/COVID-19\\_Ver.2.0\\_10.06.pdf](https://spbmiac.ru/wp-content/uploads/2020/06/COVID-19_Ver.2.0_10.06.pdf) [Methodical recommendations, algorithms for medical staff at various stages of the provision of healthcare, checklists and standard documents developed for the period of the presence and threat of further spread of a novel coronavirus infection in St-Petersburg. Version 2.0 from 10.06.2020 [https://spbmiac.ru/wp-content/uploads/2020/06/COVID-19\\_Ver.2.0\\_10.06.pdf](https://spbmiac.ru/wp-content/uploads/2020/06/COVID-19_Ver.2.0_10.06.pdf) (In Russ.)]

<sup>3</sup> Министерство здравоохранения Российской Федерации. Временные методические рекомендации профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19) Версия 6 (28.04.2020) [Ministry of Health of the Russian Federation. Temporary guidelines for the prevention, diagnosis and treatment of novel coronavirus infection (covid-19). Version 6 (04/28/2020) (In Russ.)]

<sup>4</sup> Методические рекомендации, алгоритмы действия медицинских работников на различных этапах оказания помощи, чек-листы и типовые документы, разработанные на период наличия и угрозы дальнейшего распространения новой коронавирусной инфекции в Санкт-Петербурге. Версия 1.0 – (17.04.2020) [Methodical recommendations, algorithms for the medical staff at various stages of healthcare, checklists and standard documents developed for the period of the presence and threat of further spread of a novel coronavirus infection in St. Petersburg. Version 1.0 – (04/17/2020) (In Russ.)]

<sup>5</sup> Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ. Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности. Утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 16.02.2007 г. № 0100/1659-07-26. [Filling of the Federal state statistical surveillance form No. 3-DOZ. Methodical recommendations the provision of the radiation safety. Approved by the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection on February 16, 2007, No. 0100 / 1659-07-26. (In Russ.)]

<sup>6</sup> МУ 2.6.1.3584-19 Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания. Утв. главным государственным санитарным врачом РФ 30.10.2019. [MU 2.6.1.3584-19 Changes in MU 2.6.1.2944-11 Control of the effective doses of patients for the medical X-ray examinations. Methodical instructions (In Russ.)]

Распределение выборки пациентов по возрасту

Таблица 1

[Table 1]

Number of patients participating in the study

Диапазоны возрастов [Age range]	Номинальный возраст в группе [Nominal age in group]	Количество пациентов [Number of patients]
2–6	5	19
7–11	10	34
12–16	15	26

Параметры стандартных протоколов сканирования

Таблица 2

[Table 2]

Standard CT-scan protocol parameters

Протокол [Protocol]	Тип сканирования [Scan type]	Коллимация, мм [Collimation, mm]	Питч, отн.ед. [Pitch, rel.un.]	Время оборота трубки, с [Rotation time, s]	Время сканирования, с [Scan time, s]	Напряжение, кВ [Voltage, kV]	Экспозиция, мАс [Exposition, mAs]	CTDIvol, мГр [CTDIvol, mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
Chest Low Dose	Helical	64 0,625	1,49	0,4	3	120	64	4,7	200,2
Child Chest 20–30kg	Helical	64 0,625	1,575	0,4	1,6	100	84	3,6	86,3
Chest Standart	Helical	64 0,625	0,797	0,75	9,8	120	159	12,2	510,8
Child Chest 40–50kg	Helical	64 0,625	1,49	0,4	1,7	120	104	8	193,8
Child Chest 30–40kg	Helical	64 0,625	1	0,4	2,5	100	158	6,8	159,9

Все исследования были выполнены на компьютерном томографе модели Brilliance eCT System (Philips Medical Systems, USA). Параметры стандартных протоколов сканирования представлены в таблице 2.

Для каждого пациента были собраны следующие характеристики:

- возраст, лет;
- рост, см;
- масса тела, кг.

Для каждого КТ-исследования были собраны следующие параметры:

- произведение дозы на длину (DLP, мГр·см);
- объемный компьютерно-томографический индекс дозы (CTDIvol, мГр);
- длина сканирования, см.

Антропометрические характеристики пациентов собирались путем анализа медицинских карт пациентов. Параметры проведения КТ-исследований собирались в специально разработанные анкеты путем непосредственной регистрации с консоли компьютерного томографа, а также по результатам анализа цифровых изображений в формате DICOM с предварительной анонимизацией.

Для уточненной оценки скорректированных эффективных доз для каждого пациента были определены передне-задний и боковой размеры тела и рассчитан эффективный диаметр ( $d_{eff}$ ).

Эффективный диаметр – расчетный диаметр тела пациента в определенной его области, перпендикулярный оси сканирования Z. Эффективный диаметр предполагает, что тело человека имеет круглое поперечное сечение [3].

Расчет эффективных диаметров пациентов проводился с использованием выражения 1:

$$d_{eff} = \sqrt{AP \times LAT}, \text{ см} \quad (1)$$

где AP – передне-задний размер тела пациента, см;

LAT – боковой размер тела пациента, см.

Измерение передне-заднего и бокового размеров тела происходило с помощью программного обеспечения рабочей станции КТ Philips. Размеры тела измерялись на срезе, соответствовавшем уровню середины грудины. Погрешность определения передне-заднего и бокового размеров тела не превышала 2 мм.

Расчет доз детских пациентов был выполнен с использованием 3 методов:

1. Расчет эффективных доз в соответствии с методическими рекомендациями МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» с использованием коэффициентов перехода, учитывающих возраст пациентов [18]. Расчет доз был выполнен с использованием выражения 2:

$$E = \sum DLP \times Ke, \text{ мЗв} \quad (2)$$

где DLP – произведение дозы на длину сканирования, мГр·см;

Ke – дозовый коэффициент для анатомической области, мЗв/(мГр·см).

В МУ 2.6.1.3584-19 коэффициенты перехода от DLP к эффективной дозе рассчитаны для набора стандартных воксельных фантомов детей с использованием взвешенных тканевых коэффициентов из публикации МКРЗ 60 [17]. В данной методике не учитывается специфика модели компьютерного томографа.

2. Расчет скорректированных эффективных доз пациентов-детей с использованием коэффициентов перехода, учитывающих массу тела пациента в соответствии с методикой из Golikov et al. [10]. Расчет доз был выполнен с использованием выражения 3:

$$E_{\text{кор}} = \frac{11,4 \times (1 - \exp(-0,11 \times 7 \times \sqrt[3]{W}))}{W} \times DLP \times l \times 0,001, \text{ мЗв} \quad (3)$$

где W – масса тела пациента, кг;

DLP – произведение дозы на длину сканирования, мГр·см;

l – длина окружности тела пациента, см;  $l = d_{\text{eff}} \times \pi$ .

Коэффициенты, использованные в формуле, были рассчитаны на базе расчетных стилизованных моделей типа MIRD-5 [11–13].

3. Расчет скорректированных эффективных доз пациентов-детей по массе тела и росту с использованием специализированного программного обеспечения NCICT 3.0 [14–16].

Данное ПО позволяет рассчитывать поглощенные дозы в органах с учетом специфики модели томографа на основании параметров проведения исследований и эффективную дозу. Необходимо отметить, что данная эффективная доза не соответствует определению МКРЗ и представляет собой величину, которая зависит от пола, массы тела и роста пациента [15, 16].

Условия облучения пациентов в NCICT 3.0 также моделируются с помощью воксельных фантомов [14–16].

Для расчета скорректированной индивидуальной эффективной дозы для каждого пациента подбирался фантом, соответствующий его полу и наиболее близкий к его антропометрическим данным, также учитывалась модель компьютерного томографа и такие параметры проведения исследования, как длина сканирования и объемный компьютерно-томографический индекс дозы (CTDIvol).

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программ Statistica 12 и Microsoft Excel.

## Результаты и обсуждение

Антропометрические характеристики пациентов представлены в таблице 3.

Разница между минимальным и максимальным значениями роста пациентов для всех возрастных групп составила примерно 1,3 раза.

Разница между минимальным и максимальным значениями массы тела пациентов в возрастных группах 5 и 10 лет достигала примерно 2,5 раз. Наибольший разброс массы тела наблюдается в возрастной группе 15 лет (до 4 раз).

Результаты распределения рассчитанных эффективных диаметров в исследуемых возрастных группах представлены на рисунке 1.

Разница между минимальным и максимальным значениями эффективных диаметров пациентов в каждой возрастной группе достигала до 1,5 раз.

Из данных, представленных в таблице 4, видно, что более 68% детей по массе тела и 23% по росту отличаются как в большую, так и в меньшую стороны от референтных значений на  $\pm 10\%$  и больше. Наиболее существенные отклонения от референтных значений в каждой возрастной группе на  $\pm 10\%$  и больше наблюдаются по массе тела. Процент детей, отличающихся по этому показателю в разных возрастных группах, составил: 5 лет – 73%, 10 лет – 73%, 15 лет – 57%. Примерно 1/4 детей в каждой

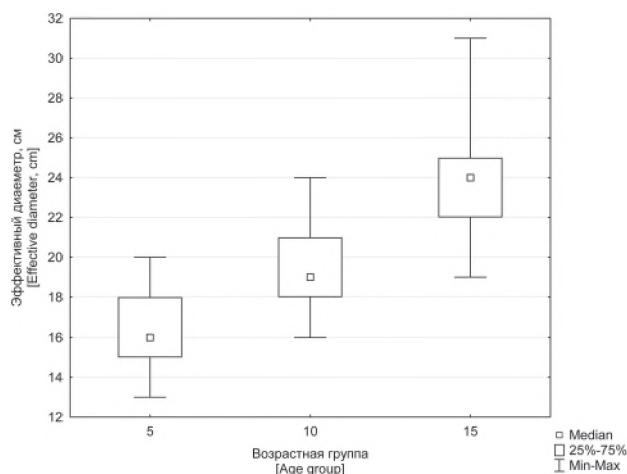
Таблица 3

**Антропометрические характеристики пациентов. Описательная статистика представлена в формате среднее  $\pm$  среднеквадратическое отклонение (минимум – максимум)**

[Table 3]

**Anthropometric characteristics of patients. Descriptive statistics are presented in the format: mean  $\pm$  standard deviation, (minimum – maximum)]**

Возрастная группа, лет [Age group]	Пол [Gender]	Масса тела, кг [Body mass, kg]	Рост, см [Height, cm]	ИМТ, кг/м <sup>2</sup> [Body mass index, kg/m <sup>2</sup> ]
5	М [M]	17,3 $\pm$ 4,4 (11–26)	106,8 $\pm$ 11,4 (92–131)	15,04 $\pm$ 2,3 (12,2–20,7)
	Ж [F]	16,4 $\pm$ 5,1 (9–25)	106 $\pm$ 12,2 (84–122)	14,3 $\pm$ 2,0 (12,0–18,6)
10	М [M]	28,9 $\pm$ 8,8 (18–51,5)	129,4 $\pm$ 12,2 (104–152)	16,9 $\pm$ 3,2 (11,5–22,8)
	Ж [F]	26,5 $\pm$ 5,7 (17,5–38)	129,8 $\pm$ 7,6 (120–143)	15,6 $\pm$ 2,5 (11,7–19,5)
15	М [M]	51,5 $\pm$ 15,3 (22–87)	162,7 $\pm$ 17,3 (127–185)	19,2 $\pm$ 4,0 (13,6–27,7)
	Ж [F]	47,3 $\pm$ 6,9 (37–56)	161,1 $\pm$ 7,6 (148,5–171)	18,2 $\pm$ 2,4 (15,2–23,2)



**Рис. 1.** Распределение рассчитанных эффективных диаметров в исследуемых возрастных группах. Результаты представлены в формате: медиана  $\pm$  25% — 75%-перцентили (минимум — максимум)

**[Fig. 1.** Distribution of calculated effective diameters in the studied age groups. Results are presented in the format: median  $\pm$  25% — 75%-percentiles (minimum — maximum)]

возрастной группе отличались по росту от референтных значений на  $\pm 10\%$  и больше, также встречались дети, которые одновременно отличались и по росту, и по массе тела (16,5%).

Параметры распределения эффективных доз,  $E_{\text{NCICT}}$  и  $E_{\text{кор}}$  за одну фазу исследования представлены в табли-

це 5. При сравнении доз, рассчитанных по МУ 2.6.1.3584-19 и  $E_{\text{кор}}$  в среднем процентное отклонение составило около 7,1%. Отклонения наблюдались как в одну, так и в другую сторону, максимальное отклонение составило 65%.

При сравнении доз, определенных по МУ 2.6.1.3584-19 и с использованием программного обеспечения NCICT 3.0, дозы, рассчитанные с помощью NCICT 3.0, отличались от доз, рассчитанных по МУ 2.6.1.3584-19, и были выше в среднем на 18% (максимально – 53%).

При сравнении  $E_{\text{кор}}$  и доз, рассчитанных с помощью NCICT 3.0, дозы по NCICT 3.0 были выше в среднем на 32% (максимально – 70%).

По результатам анализа полученных результатов были выявлены статистически достоверные ( $p < 0,05$ ) различия между выборками доз: МУ 2.6.1.3584-19/  $E_{\text{NCICT}}$ ;  $E_{\text{NCICT}}$  /  $E_{\text{кор}}$ . При сравнении выборок доз, рассчитанных по МУ 2.6.1.3584-19, и  $E_{\text{кор}}$  достоверные различия отсутствовали.

Как следует из таблицы 4, большой процент детей от общей выборки (>68% по массе и 23% по росту) отличается от референтных значений [19] как в большую, так и в меньшую стороны, причем число детей, отличающихся по массе тела, гораздо больше, чем по росту. Такие существенные различия антропометрических характеристик могут быть обусловлены как отличием нашей группы от международной когорты МКРЗ [19] по расовому и национальному составу, так и особенностями индивидуального физического развития детей.

Как следует из таблицы 3, присутствуют значительные вариации по росту (до 1,3 раз) и массе тела (вплоть до 4

Таблица 4

**Сравнение антропометрических данных исследуемых пациентов с референтными значениями, представленными в МУ 2.6.1.3584-19**

[Table 4

**Comparison of patient anthropometric data with the reference values presented in MU 2.6.1.3584-19]**

Возраст [Age group]	Референтная масса тела, кг [Reference body mass values, kg]	Референтный рост, см [Reference height values, cm]	Общее количество детей [Total number of kids]	Количество детей, отличающихся от референтного значения массы тела ( $\pm 10\%$ ) [The number of kids differing from the reference body mass values $\pm 10\%$ ]	Количество детей, отличающихся от референтного значения роста ( $\pm 10\%$ ) [The number of kids differing from the reference height values $\pm 10\%$ ]	Количество детей, отличающихся от референтных значений массы тела и роста ( $\pm 10\%$ ) [The number of kids differing from the reference body mass and height values $\pm 10\%$ ]
5 лет [5-year-old]	19	109	19	14	5	3
10 лет [10-year-old]	32	138	34	25	8	6
15 лет [15-year-old]	54,5	164	26	15	5	4
Всего [Total]			79	54	18	13

Таблица 5

Параметры распределения эффективных доз,  $E_{\text{NCICT}}$  и  $E_{\text{кор}}$  за 1 фазу КТ- исследования органов грудной клетки педиатрических пациентов. Описательная статистика представлена в формате медиана  $\pm$  среднеквадратическое отклонение (минимум — максимум)

[Table 5]

Distribution of parameters of effective doses,  $E_{\text{NCICT}}$  and  $E_{\text{cor}}$  per 1 phase of CT-examination. Descriptive statistics are presented in the format: median  $\pm$  standard deviation (minimum — maximum)

Возрастная группа [Age group]	$E_{\text{NCICT}}$ мЗв [ $E_{\text{NCICT}}$ mSv]	МУ 2.6.1.3584-19, мЗв [MU 2.6.1.3584-19, mSv]	$E_{\text{кор}}$ (Golikov et al), мЗв [ $E_{\text{cor}}$ (Golikov et al), mSv]
5 лет [5-year-old]	2,8 $\pm$ 1,3 (0,8–5,6)	2,4 $\pm$ 1,3 (0,8–5,4)	2,3 $\pm$ 1,0 (0,8–4,6)
10 лет [10-year-old]	5,1 $\pm$ 1,2 (2,1–7,4)	4,6 $\pm$ 1,2 (1,3–6,8)	3,9 $\pm$ 1,0 (1,4–5,1)
15 лет [15-year-old]	6,3 $\pm$ 1,8 (1,7–10,4)	4,5 $\pm$ 1,6 (1,4–8,8)	4,5 $\pm$ 1,3 (1,6–6,8)

раз) в рамках выбранной возрастной категории. Данные вариации затрудняют применение действующих методик оценки скорректированных эффективных доз пациентов, отличающихся по своим параметрам от референтных (средних) значений, так как могут приводить как в недооценке, так и к переоценке доз. Использование эффективного диаметра в качестве дополнительной характеристики телосложения пациента для уточнения оценки скорректированных эффективных доз является более консервативным – вариации для индивидуальных пациентов в рамках одной возрастной категории не столь выражены (до 1,5 раз). К сожалению, определение эффективного диаметра в ручном режиме для каждого пациента (в соответствии с методикой, представленной в разделе «Материалы и Методы») занимает много времени. Однако данная методика на практике может быть использована для пациентов, существенно отличающихся по своим антропометрическим характеристикам.

При сравнении доз, определенных по МУ 2.6.1.3584-19 и с использованием программного обеспечения NCICT 3.0, дозы, рассчитанные с помощью NCICT 3.0, были выше доз, рассчитанных по МУ 2.6.1.3584-19 в среднем на 18% (максимально – 53%). Такие различия могут быть объяснены значительным отклонением массы тела и роста некоторых пациентов от референтных значений внутри исследуемых возрастных групп, для которых представлены коэффициенты перехода в МУ 2.6.1.3584-19. Кроме того, в МУ 2.6.1.3584-19 коэффициенты перехода представлены для наиболее распространенных параметров протоколов КТ-сканирования [18]. Поэтому в случае, если реальные параметры проведения КТ-сканирования для конкретного ребенка отличаются, возможно завышение или занижение значений  $E_{\text{NCICT}}$ . К сожалению, использование программы NCICT 3.0 в медицинской практике не может быть рекомендовано в связи с недостатком квалифицированных кадров (медицинских физиков).

Отклонения доз, рассчитанных по МУ 2.6.1.3584-19 и  $E_{\text{кор}}$ , могут объясняться значительным отклонением мас-

сы тела данных пациентов от референтных значений для каждой возрастной группы, для которых представлены коэффициенты перехода в МУ 2.6.1.3584-19, а также использование в расчетах коэффициентов для разных типов фантомов: стилизованный фантом [10] и воксельный в МУ 2.6.1.3584-19.

Различия в дозах при сравнении  $E_{\text{кор}}$  и  $E_{\text{NCICT}}$  могут быть объяснены как выраженными особенностями антропометрических данных некоторых пациентов, так и использованием разных типов фантомов: стилизованный фантом [10] и воксельный в NCICT 3.0.

Отсутствие достоверных различий между выборками эффективных доз, рассчитанных по МУ 2.6.1.3584-19 и  $E_{\text{кор}}$ , свидетельствует о возможности использования МУ 2.6.1.3584-19 для расчета типичных эффективных доз для больших выборок пациентов. В случае значительного отклонения антропометрических данных пациента от референтных значений, представленных в МУ 2.6.1.3584-19, целесообразно использовать методику, представленную в статье [10].

## Выводы

1. Результаты исследования показали, что внутри каждой возрастной группы детей существуют значительные вариации антропометрических характеристик: по весу до 4 раз, по росту и эффективному диаметру — до 1,5 раз.

2. Результаты оценки доз облучения детей (см. табл. 5) показали, что эффективные дозы у отдельных детей могут различаться до 2 раз.

3. По результатам анализа полученных результатов были выявлены достоверные ( $p < 0,05$ ) различия между выборками доз: МУ 2.6.1.3584-19/  $E_{\text{NCICT}}$ ;  $E_{\text{NCICT}}$  /  $E_{\text{кор}}$ . При сравнении выборок доз, рассчитанных по МУ 2.6.1.3584-19 и  $E_{\text{кор}}$ , достоверные различия отсутствовали.

4. МУ 2.6.1.3584-19 является наиболее простым и доступным методом расчёта эффективной дозы для детей. Однако в случае, если ребенок существенно отличается по своим антропометрическим характеристикам от рефе-

<sup>7</sup> МУ 2.6.1.2944-11 Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания. Утв. главным государственным санитарным врачом РФ 19.07.2011. [MU 2.6.1.2944-11 Control of the effective doses of patients for the medical X-ray examinations. Methodical instructions (In Russ.)]

рентных значений, а также в случае отличия параметров проведения КТ-исследования от тех, для которых представлены коэффициенты перехода в МУ 2.6.1.3584-19, реальное значение эффективной дозы, полученное пациентом при проведении КТ-исследования, может быть переоценено или, наоборот, недооценено.

5. Для расчета  $E_{кор}$  пациентов, существенно отличающихся по антропометрическим характеристикам от референтных значений, может быть использована методика, представленная в статье Golikov et al. [10]. В этом случае доза будет скорректирована по массе тела и эффективному диаметру пациента. Плюсом данного метода является то, что он учитывает особенности телосложения ребенка, однако есть и недостатки – трудности в определении эффективного диаметра пациента при отсутствии специализированного программного обеспечения, а также сложность расчетов для медицинского персонала в условиях постоянной загруженности КТ-отделений. Такой метод может быть внедрен в практику в случае его упрощения или автоматизации.

6. Расчет скорректированной эффективной дозы с помощью NCICT 3.0 позволяет учесть большое количество факторов, влияющих на дозу ребенка, таких как телосложение, пол, модель компьютерного томографа, а также параметры проведения КТ-исследования (напряжение, экспозиция, питч, коллимация,  $CTDI_{vol}$ , длина сканирования). Однако данный метод не имеет возможности широкого распространения в медицинской практике в связи с отсутствием квалифицированных кадров (медицинских физиков).

### Благодарности

Авторы выражают благодарность медицинскому персоналу КТ-отделения Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета за содействие в проведении исследования, а также Ларисе Александровне Чипиге, Александру Валерьевичу Водоватову и Владиславу Юрьевичу Голикову (Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Российская Федерация) за помощь в обсуждении результатов.

### Литература

1. Дружинина П.С., Чипига Л.А., Рыжов С.А., и др. Современные подходы к обеспечению качества диагностики в компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 17-33.
2. Khawaja R.D.A., Singh S., Vettiyl B., et al. Simplifying Size-Specific Radiation Dose Estimates in Pediatric CT // American Journal of Roentgenology. 2015. Vol. 204. P. 167-177.
3. The American Association of Physicists in Medicine. Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT Examinations/ American Association of Physicists in Medicine // AAPM. 2011. Report No 204. 30 p.
4. The International Commission on Radiological Protection. Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging // ICRP PUBLICATION 135. Ann. ICRP. 2017. Vol. 46, No 1. P. 140.
5. Journy N.M.Y., Dreuil S., Boddart N., et al. Individual radiation exposure from computed tomography: a survey of paediatric practice in French university hospitals, 2010-2013 // European Radiology. 2018. Vol. 28, No 2. P. 630-641. Doi: 10.1007/s00330-017-5001-y.
6. Célér D., Roch P., Etard C., et al. Multicentre survey on patient dose in paediatric imaging and proposal for updated diagnostic reference levels for France. Part 1: computed tomography // European Radiology. 2020; Vol. 30, No. 2. P. 1156-1165. Doi: 10.1007/s00330-019-06405-3.
7. Vassileva J., Rehani M., Kostova-Lefterova D., et al. A study to establish international diagnostic reference levels for paediatric computed tomography // Radiation Protection Dosimetry. 2015. Vol. 165, No 1-4. P. 70-80. Doi: 10.1093/rpd/ncv116.
8. Strauss K.J., Somasundaram E., Sengupta D., et al. Radiation Dose for Pediatric CT: Comparison of Pediatric versus Adult Imaging Facilities // Radiology. 2019. Vol. 291, No. 1. P. 158-167. Doi: 10.1148/radiol.2019181753.
9. Jackson D., Bettenay F., Clark J., et al. Paediatric CT dose: a multicentre audit of subspecialty practice in Australia and New Zealand // European Radiology. 2015. Vol. 25, No. 11. P. 3109-22. Doi: 10.1007/s00330-015-3727-y.
10. Golikov V., Druzhinina P. Technical Note: Patient-weight dependence of the effective dose conversion coefficients for diagnostic X-ray imaging procedures // Medical Physics Journal. 2020. Vol. 47, No. 10. P. 5366-5372.
11. Snyder W.S., Ford M.R., Warner G.G., Watson G.G. Revision of MIRD Pamphlet No 5 Entitled 'Estimates of Absorbed Fractions for Monoenergetic Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom. ORNL-4979 // Tennessee: Oak Ridge National Laboratory. 1974.
12. Cristy M. Mathematical Phantoms Representing Children of Various Ages for Use in Estimates of Internal Dose // Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, ORNL/NUREG/TM-367. 1980. 55 p.
13. Han E.Y., Bolch W.E., Eckerman K.F. Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRD schema // Health Physics Journal. 2006. No. 90. P. 337-356.
14. Lee Ch., Kim K.P., Bolch W.E., et al. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans // Journal of Radiological Protection. 2015. Vol. 35, No. 4. P. 891-909. Doi: 10.1088/0952-4746/35/4/891
15. Lee Ch. NCICT: user manual. 2021. 6 p.
16. National Cancer Institute. URL: <https://ncidose.cancer.gov> (Дата обращения: 26.07.2021).
17. Международная Комиссия по Радиационной защите. Рекомендации Международной Комиссии по Радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ: пер. с англ./под ред. И.Б. Кеирим-Маркуса. М.: Энергоатомиздат, 1994. 207 с.
18. Голиков В.Ю., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Сарычева С.С. Дополнения и изменения в оценке эффективных доз внешнего облучения пациентов при медицинских исследованиях // Радиационная гигиена. 2019. Т.12, № 3. С. 120-132.
19. Международная комиссия по радиологической защите. Основные анатомические и физиологические данные для использования в радиационной безопасности. Публикация 89 МКРЗ: пер. с англ./под ред. И. Б. Кеирим-Маркуса. М.: Медкнига, 2007. 318 с.
20. Brady Z., Ramanauskas F., Cain T.M., Johnston P.N. Assessment of paediatric CT dose indicators for the purpose of optimization // The British Journal of Radiology. 2012. Vol. 85, No. 1019. P. 1488-98. Doi: 10.1259/bjr/28015185.
21. Matsunaga Yu., Kawaguchi A., Kobayashi M., et al. Effective radiation doses of CT examinations in Japan: a nationwide questionnaire-based study // The British Journal of Radiology. 2016. Vol. 89, No. 1058. P. 20150671. Doi: 10.1259/bjr.20150671
22. Gudjonsdottir J., Jonsdottir A.B. Effective dose from pediatric CT in Iceland // Laeknabladid. 2017. Vol. 103, No 11. P. 489-492. Doi: 10.17992/ibl.2017.11.160.
23. Pages J., Buis N., Osteaux M. CT doses in children: a multicentre study // The British Journal of Radiology.

2003. Vol. 76, No. 911. P. 803-11. Doi: 10.1259/bjr/92706933.
24. Mordacq C., Deschildre A., Petyt L., et al. Chest computed tomography in children: indications, efficiency and effective dose // Archives de Pédiatrie Journal. 2014. Vol. 21, No. 3. P. 279-86. Doi: 10.1016/j.arcped.2013.12.021.
- Поступила: 12.05.2021 г.

**Дружинина Полина Сергеевна** – младший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

**Поздняков Александр Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением лучевой диагностики, заведующий кафедрой медицинской биофизики, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

**Капырина Юлия Николаевна** – ассистент кафедры общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

**Иванов Дмитрий Олегович** – доктор медицинских наук, профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия

**Петренко Юрий Валентинович** – кандидат медицинских наук, проректор по лечебной работе, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

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

**Для цитирования:** 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

## Comparison of methods for calculating effective doses for children during CT examinations of the chest organs

Polina S. Druzhinina<sup>1</sup>, Aleksandr V. Pozdnyakov<sup>2</sup>, Yuliya N. Kapryrina<sup>2</sup>, Dmitriy O. Ivanov<sup>2</sup>, Yuriy V. Petrenko<sup>2</sup>, Viktor G. Puzyrev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

*Computed tomography is associated with high patient doses. CT is actively used for pediatric, however, currently there is no reliable data on the pediatric patient doses in the Russian Federation. The current study presents the data on the anthropometric characteristics of 5, 10 and 15-year-old pediatric patients, as well as the results of a comparative assessment of the effective doses of these patients during CT-examinations of chest, considering their anthropometric data. The effective doses were calculated using three methods: based on the actual guidelines (MU 2.6.1.3584-19) using the age specific conversion coefficients; using the conversion coefficients considered patient body mass and effective diameter; using a specialized software NCICT 3.0. The difference between effective doses according to actual guidelines and considering patient body mass and effective diameter was about 7.1% (max-65%). High deviations were observed in patients with abnormally large or abnormally low body mass. Effective doses calculated using NCICT 3.0 were higher compared to doses calculated according to actual guidelines on average by 18% (max – 53%). Such differences are explained by the fact that in MU 2.6.1.3584-19 conversion coefficients are presented for the most common CT-scan parameters of protocols, and in NCICT 3.0 the calculation considers individual scan parameters for each patient. The difference between effective doses according to NCICT 3.0 and considering patient body*

**Polina S. Druzhinina**

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

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

mass and effective diameter was about 32% (max-70%). This difference can be explained by the differences in the anthropometric data of some patients, and by the use of different types of phantoms: a stylized phantom (Golikov et al) and a voxel phantom in NCICT 3.0.

**Key words:** computed tomography, pediatric patients, effective doses, anthropometric characteristic.

## References

1. Druzhinina PS, Chipiga LA, Ryzhov SA, Vodovатов AV, Berkovich GV, Smirnov AV, et al. Proposals for the Russian quality assurance program in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 17-33. (In Russian).
2. Khawaja RDA, Lim R, Gee M, Westra S, Kalra MK. Simplifying Size-Specific Radiation Dose Estimates in Pediatric CT. *American Journal of Roentgenology*. 2015;204: 167-177.
3. The American Association of Physicists in Medicine. Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT Examinations. *American Association of Physicists in Medicine. AAPM*. Report No 204. 2011. 30 p.
4. The International Commission on Radiological Protection. Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. ICRP PUBLICATION 135. Ann. *ICRP*. 2017;46(1): 140.
5. Journy NMY, Dreuil S, Boddaert N, Chateil J-F, Defez D, Ducou-le-Pointe H, et al. Individual radiation exposure from computed tomography: a survey of paediatric practice in French university hospitals, 2010-2013. *European Radiology*. 2018;28(2): 630-641. Doi: 10.1007/s00330-017-5001-y.
6. Clier D, Roch P, Etard C, Ducou Le Pointe H, Brisse HJ. Multicentre survey on patient dose in paediatric imaging and proposal for updated diagnostic reference levels for France. Part 1: computed tomography. *European Radiology*. 2020;30(2): 1156-1165. Doi: 10.1007/s00330-019-06405-3.
7. Vassileva J, Rehani M, Kostova-Lefterova D, I-Naemi HMA, Al Suwaidi JS, Arandjic D, et al. A study to establish international diagnostic reference levels for paediatric computed tomography. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015;165(1-4): 70-80. Doi: 10.1093/rpd/ncv116.
8. Strauss KJ, Somasundaram E, Sengupta D, Marin JR, Brady SL. Radiation Dose for Pediatric CT: Comparison of Pediatric versus Adult Imaging Facilities. *Radiology*. 2019;291(1): 158-167. Doi: 10.1148/radiol.2019181753.
9. Jackson D, Atkin K, Bettenay F, Clark J, Ditchfield MR, Grimm JE, et al. Paediatric CT dose: a multicentre audit of subspecialty practice in Australia and New Zealand. *European Radiology*. 2015;25(11): 3109-22. Doi: 10.1007/s00330-015-3727-y.
10. Golikov V, Druzhinina P. Technical Note: Patient-weight dependence of the effective dose conversion coefficients for diagnostic X-ray imaging procedures. *Medical Physics Journal*. 2020;47(10): 5366-5372.
11. Snyder WS, Ford MR, Warner GG, Watson GG. Revision of MIRD Pamphlet No 5 Entitled 'Estimates of Absorbed Fractions for Monoenergetic Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom. ORNL-4979. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory; 1974.
12. Cristy M. Mathematical Phantoms Representing Children of Various Ages for Use in Estimates of Internal Dose. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, ORNL/NUREG/TM-367; 1980. 55 p.
13. Han EY, Bolch WE, Eckerman KF. Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRD schema. *Health Physics Journal*. 2006;90: 337-356.
14. Lee Ch, Kim KP, Bolch WE, Moroz BE, Folio L. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(4): 891-909. Doi: 10.1088/0952-4746/35/4/891
15. Lee Ch. NCICT: user manual. 2021. 6 p.
16. National Cancer Institute. – Available from: <https://ncidose.cancer.gov> (accessed: 26.07.2021).
17. International Commission on Radiation Protection. International 1990 Radiological Protection Commission. Publication 60 ICRP: trans. from English / ed. I.B. Keirim-Marcus. Moscow: Energoatomizdat, 1994. 207 p. (In Russian)
18. Golikov VYu, Chipiga LA, Vodovатов AV, Sarycheva SS. Supplements and adjustments to the method of the assessment of the effective dose from the external exposure of the patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(3):120-132. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-120-132>
19. International Commission on Radiological Protection. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. ICRP Publication 89. 2002;32(3-4): 282. (In Russian)
20. Brady Z, Ramanauskas F, Cain TM, Johnston PN. Assessment of paediatric CT dose indicators for the purpose of optimization. *The British Journal of Radiology*. 2012;85(1019): 1488-98. Doi: 10.1259/bjr/28015185.
21. Matsunaga Yu, Kobayashi K, Kobayashi M, Asada Ya, Minami K, Suzuki Sh., et al. Effective radiation doses of CT examinations in Japan: a nationwide questionnaire-based study. *The British Journal of Radiology*. 2016;89(1058): 20150671 Doi: 10.1259/bjr.20150671
22. Gudjonsdottir J., Jonsdottir A.B. Effective dose from pediatric CT in Iceland. *Laeknabladid*. 2017;103(11): 489-492. Doi: 10.17992/lbl.2017.11.160.
23. Pages J, Buls N, Osteaux M. CT doses in children: a multicentre study. *The British Journal of Radiology*. 2003;76(911): 803-11. Doi: 10.1259/bjr/92706933.
24. Mordacq C, Deschildre A, Petyt L, Santangelo T, Delvart C, Doan , et al. Chest computed tomography in children: indications, efficiency and effective dose. *Archives de Pédiatrie Journal*. 2014;21(3): 279-86. Doi: 10.1016/j.arcped.2013.12.021.

Received: May 12, 2021

**For correspondence: Polina S. Druzhinina** – junior researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: [druzhinapauline@gmail.com](mailto:druzhinapauline@gmail.com))

**Aleksandr V. Pozdnyakov** – Ph.D., Professor, the Head of the Department of Radiation Diagnostics, the Head of the Department of Medical Biophysics, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint -Petersburg, Russia

**Yuliya N. Kapyrina**– the Assistant of the Department of General Hygiene, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint -Petersburg, Russia

**Dmitry O. Ivanov** – MD, Ph.D., Professor, Rector of Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint -Petersburg, Russia

**Yuriy V. Petrenko** – MD, Ph.D., Vice-rector for Medical Work, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint -Petersburg, Russia

**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

**For citation: 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 Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 3. P. 91-100. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-91-100**