

Оценка поглощенных доз в плоде при проведении компьютерной томографии органов грудной клетки беременной женщины

А.В. Водоватов^{1,2}, Л.А. Чипига^{1,3,4}, П.А. Пивень⁵, Г.Е. Труфанов⁴, Г.В. Беркович⁴, И.А. Машенко⁴, П.С. Дружинина¹, В.Г. Пузырев², С.А. Рыжов^{6,7}

¹ 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

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

⁶ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

⁷ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Россия

В Российской Федерации, как и в остальных развитых странах мира, ежегодно растет число и доля высокодозовых методов лучевой диагностики, в частности, компьютерной томографии. Максимальный рост числа КТ-исследований в России наблюдался в 2020 г. за счет массированного применения данного метода для диагностики новой коронавирусной инфекции COVID-19. Его применение для исследования органов грудной клетки у беременных пациенток связано с рядом нерешенных вопросов. Общепринятым подходом по обеспечению радиационной защиты беременных пациенток является оценка поглощенной дозы в плоде после каждого рентгенорадиологического исследования. К сожалению, на текущий момент утвержденные методики оценки поглощенной дозы в плоде в отечественной практике отсутствуют. Целью данного исследования являлась оценка дозы облучения плода у беременных женщин, проходящих КТ-исследование органов грудной клетки в связи с диагностикой новой коронавирусной инфекции COVID-19, с целью оценки возможности развития пороговых эффектов у плода. Для этого были собраны параметры отечественных и зарубежных протоколов КТ-сканирования органов грудной клетки и оценены поглощенная доза в матке беременной женщины и эффективная доза у плода. Параметры зарубежных протоколов КТ-сканирования органов грудной клетки для беременных были определены посредством мета-анализа литературных источников; отечественных — путем сбора данных на базе КТ-отделений в медицинских организациях Санкт-Петербурга. На основании параметров протоколов КТ-сканирования органов грудной клетки был выполнен расчет поглощенной дозы в матке пациентки и эффективной дозы у плода с использованием компьютерной программы NCIST 3.0 для сроков беременности 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 38 недель. Результаты расчетов показывают, что поглощенные дозы в матке матери и эффективные дозы у плода достоверно не отличаются друг от друга для всех исследованных сроков беременности. Максимальные значения доз, определенные для обследованных протоколов сканирования, находятся примерно на уровне в 0,5 мГр (мЗв) для сроков 8–25 недель, 0,6 мГр (мЗв) для 30-й недели, 1,4 мГр (мЗв) для 35-й недели, и 2,7 мГр (мЗв) для 38-й недели. Результаты исследования показали, что порог развития детерминированных эффектов в плоде, принимаемый равным 100 мГр, практически недостижим даже при проведении многократных (вплоть до 10–15 раз) КТ-сканирования органов грудной клетки. Таким образом, проведение КТ-сканирования органов грудной клетки в качестве метода выбора диагностики и стадирования COVID-19 для беременных женщин не будет связано с развитием детерминированных эффектов у плода.

Ключевые слова: компьютерная томография, поглощенные дозы в плоде, COVID-19, новая коронавирусная инфекция.

Водоватов Александр Валерьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, ул. Мира 8, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: vodovatoff@gmail.com

Введение

Благодаря высокой информативности по сравнению с рентгенографией, компьютерная томография (КТ) становится незаменимым методом в ранней диагностике COVID-19. КТ позволяет предположить диагноз вирусной пневмонии, вызванной COVID-19, быстро оценить объем поражения легочной ткани и степень тяжести изменений, а также уточнить стадию изменений по характерным для новой коронавирусной пневмонии паттернам [1]. Основываясь на данных КТ, клинических и анамнестических данных, можно проводить быструю маршрутизацию пациентов и начинать противовирусную терапию [2–5].

Одной из проблем, обусловленной как значительным увеличением числа КТ-исследований, так и спецификой назначения КТ при коронавирусной инфекции, является назначение КТ органов грудной клетки для оценки объема поражения легочной ткани беременным пациенткам. Следует отметить, что общепринятым подходом как в отечественной, так и в зарубежной практике [6–9] является минимальное назначение исследований с использованием ионизирующего излучения у беременных пациенток; назначение ультразвукового исследований (УЗИ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) вместо рентгенографии и КТ. Тем не менее, согласно методическим рекомендациям «Организация оказания медицинской помощи беременным, роженицам, родильницам и новорожденным при новой коронавирусной инфекции COVID-19», КТ органов грудной клетки является одним из методов выявления случаев заболевания COVID-19 у беременных с подозрением на инфекцию [6]. При этом подразумевается, что КТ органов грудной клетки не создает высоких доз облучения плода, но доступной информации по этому вопросу не представлено.

В соответствии с современными представлениями о воздействии ионизирующего излучения на плод наиболее опасным является облучение плода после 3–4 недель беременности [10–12]. Поглощенные дозы в плоде, превышающие 100 мГр, могут приводить к значительному снижению интеллекта [10, 14]. Высокая чувствительность к излучению наблюдается также в период формирования центральной нервной системы в период 8–15 недель после зачатия. К пороговым эффектам относятся врожденные пороки развития, задержки роста и развития и смерть [13].

Общепринятыми подходами по обеспечению радиационной защиты беременных пациенток, которые применяются как в зарубежной [15–16], так и отечественной практике¹, являются:

- проведение исследований с использованием ионизирующего излучения только по жизненным показаниям;

- оценка поглощенных доз в плоде у беременных женщин после каждого рентгенорадиологического исследования;

В отечественных НМД вводятся дополнительные ограничения:

- исследования по возможности проводятся во вторую половину беременности, за исключением случаев, когда решается вопрос о прерывании беременности или необходимости оказания скорой или неотложной помощи;

- ограничение поглощенной дозы в плоде 100 мГр, при превышении которых рекомендовано прерывание беременности.

К сожалению, на текущий момент утвержденные методики оценки поглощенной дозы в плоде в отечественной практике отсутствуют, что делает затруднительной оценку дозы в плоде до проведения исследования (для информирования пациентки и получения добровольного информированного согласия на проведение исследования) и после проведения исследования (для соблюдения требований ФЗ-3)². Также отсутствуют отечественные данные по дозам облучения плода при проведении рентгенологических исследований, что приводит к возникновению различного рода спекуляций и преувеличению негативных последствий проведения КТ-исследований, в том числе и женщинам с диагнозом COVID-19.

В соответствии с зарубежными подходами [5, 10, 11, 27, 28] в качестве эквивалента поглощенной дозы в плоде может использоваться поглощенная доза в матке. Для оценки поглощенной дозы в плоде при проведении КТ-исследований матери с разным сроком беременности используют специализированные программные продукты [21–24, 30–33].

Цель исследования – оценка доз облучения плода у беременных женщин, проходящих КТ-исследование органов грудной клетки в РФ в связи с диагностикой новой коронавирусной инфекции COVID-19, для оценки возможности развития детерминированных (пороговых) эффектов у плода. Для этого были собраны параметры отечественных протоколов КТ-сканирования органов грудной клетки, оценены поглощенные дозы в матке и эффективные дозы в плоде с использованием специализированного программного обеспечения.

Материалы и методы

Протоколы КТ-сканирования

Поиск публикаций, содержащих сведения о протоколах КТ-сканирования органов грудной клетки для беременных женщин в отечественной и зарубежной практике, осуществ-

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 18.02.2003 № 8 «О введении в действие СанПиН 2.6.1.1192-03» (вместе с «СанПиН 2.6.1.1192-03. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. Санитарные правила и нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 14.02.2003) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.03.2003 г. № 4282) [SanPiN 2.6.1193-03 “Hygienic requirements on the contents and use of the X-ray rooms, X-ray units and conduction of the X-ray examinations. Sanitary rules and norms”. Approved by the Chief State sanitary doctor of the Russian Federation 14.02.2003. Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 19.03.2003 N 4282 (In Russ.)]

² Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 № 3-ФЗ. [Federal state law “On the radiation safety of the public” #3-FZ (In Russ.)]

влялся в поисковых системах PubMed Central, Scopus и Web of Science, а также Elibrary. Ключевые слова для поиска: chest CT, pregnancy, radiation risk, organ dose, fetal dose, COVID-19, pneumonia. Всего было найдено 4 зарубежные публикации с протоколами КТ-сканирования органов грудной клетки у беременных на разных сроках беременности [2, 17–19] (табл. 1); отечественные источники отсутствовали.

Данные по отечественным протоколам КТ-сканирования органов грудной клетки были собраны на базе КТ-отделений крупных многопрофильных стационаров Санкт-Петербурга (табл. 2).

Оценка дозы в плоде

Для расчетов поглощенных доз в плоде использовали программное обеспечение NCICT3.0 [21], позволяющее определить поглощенные дозы в радиочувствительных органах матери, включая дозу в матке, а также поглощенные дозы в радиочувствительных органах плода и эффективную дозу для плода [21, 23, 24]. Для оценки доз используется семейство антропоморфных фантомов беременных женщин, состоящее из 8 фантомов, соответствующих 8-й, 10-й, 15-й, 20-й, 25-й, 30-й, 35-й, 38-й неделям беременности [25]. В этих фантомах учитывается увеличение объема и изменение расположения матки с учетом типичного расположения и размера плода (табл. 3). Для каждой не-

дели беременности в фантоме женщины реализован фантом плода с выделенными отдельными радиочувствительными органами и тканями [25].

В качестве длины сканирования была использована стандартная длина сканирования органов грудной клетки в NCICT 3.0 [21, 26], равная 330 мм, начиная от ключицы.

В работе была использована следующая схема обработки данных:

- определение объемного компьютерно-томографического индекса дозы ($CTDI_{vol}$) и произведения дозы на длину сканирования (DLP) для каждого из протоколов КТ-сканирования (см. табл. 1 и 2) с учетом модели КТ-аппарата, напряжения, произведения тока трубки на время оборота трубки и питч-фактора в программном обеспечении NCICT 3.0 с учетом специфики каждой из моделей КТ для стандартного дозиметрического фантома диаметром 32 см;

- расчет поглощенной дозы в матке пациентки и эффективной дозы для плода с использованием NCICT 3.0 и определенного $CTDI_{vol}$ для всех временных интервалов беременности (8, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 38 недель).

Статистическая обработка

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения Statistica 10.

Зарубежные протоколы КТ-сканирования органов грудной клетки для беременных пациенток

Таблица 1

[Table 1]

International protocols of the computed tomography of the chest for the pregnant patients

№	Статья, автор [Source, author]	Модель КТ-аппарата [CT-unit model]	Напряжение, кВ [Tube voltage, kV]	Экспозиция, мА·с [Exposure, mAs]	Питч-фактор [pitch]	$CTDI_{vol}$, мГр [$CTDI_{vol}$, mGy]	Срок беременности [Pregnancy period]
1	H. Liu, и др. 2020 [18]	64-срезовый КТ-сканер (uCT780, United imaging, China, or Optima 660, GE, USA) [64-slice CT scanner]	120	10-300	1,0875 или 1,375	–	От 20 до 40 недель [20 to 40 weeks]
2	Shahir, и др. 2010 [20]	8-, 16-, 64-срезовый КТ-сканер (LightSpeed Ultra, LightSpeed Plus, или LightSpeed VCT, GE) [8-, 16-, 64-slice CT scanner]	120–140	150-300	1	–	Первый, второй и третий триместры [First, second and third trimesters]
3	D. Liu, и др. 2020 [2]	Ingenuity Core 128, Philips	120	–	–	2,3 – 5,8	От 12 до 38 недель [12 to 38 weeks]
4	Angle, и др. 2008 [17]	LightSpeed 16, GE	120	100–300	1,375	–	От 5 до 36 недель [5 to 36 weeks]

Таблица 2

Отечественные протоколы КТ-сканирования органов грудной клетки для беременных пациенток

[Table 2]

St-Petersburg protocols of the computed tomography of the chest for the pregnant patients

Модель КТ-аппарата [CT-unit model]	Напряжение, кВ [Tube voltage, kV]	Экспозиция, мА·с [Exposure, mAs]	Питч-фактор [pitch]
Ingenuity 128, Philips	100	142	1,048
Somatom Definition AS, Siemens	120	175	–
Somatom Scope, Siemens	110	75	1,5
Emotion 16, Siemens	130	60	1,5

Для описания количественных показателей использовали методы непараметрической статистики. Для определения взаимосвязи показателей между собой использовали корреляционный анализ Спирмена; для определения различий между выборками – тест Краскелла – Уоллиса с дальнейшим попарным сравнением тестом Манна – Уитни. Все различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты определения $CTDI_{vol}$, DLP, поглощенных доз в матке, использованных в качестве альтернативы

поглощенной дозе в плоде, а также эффективных доз в плоде представлены в таблицах 3 и 4 для зарубежных и отечественных протоколов КТ-сканирования органов грудной клетки соответственно.

Сравнение поглощенных доз в матке матери и эффективной дозы у плода (принимая во внимание, что $w_R=1$ для фотонного излучения) для объединенной выборки КТ-аппаратов для различных сроков беременности представлено на рисунке.

Достоверные различия между поглощенными дозами в матке и эффективными дозами у плода, определенными

Таблица 3

Дозовые характеристики для беременных женщин при КТ органов грудной клетки для зарубежных протоколов

[Table 3]

Dose characteristics for the pregnant women for the CT of the chest for the international protocols

Модель аппарата [CT-unit model]	$CTDI_{vol}^{vol}$, мГр [$CTDI_{vol}^{vol}$, mGy]	DLP, мГр×см [DLP, mGy×cm]	Срок беременности, неделя [Pregnancy period, week]	D_{matka}^{INCICT} , мГр [D_{uterus}^{INCICT} , mGy]	E_{mod}^{INCICT} , мЗв [E_{fetus}^{INCICT} , mSv]
Optima 600, GE	14,3	472	20	0,22	0,30
			25	0,26	0,29
			30	0,34	0,37
			35	0,78	0,91
			38	1,50	1,22
			20	0,17	0,23
			25	0,21	0,23
			30	0,27	0,29
			35	0,62	0,72
			38	1,18	0,97
LightSpeed VCT, GE	16,8	555	8	0,24	0,26
			10	0,27	0,27
			15	0,19	0,21
			20	0,25	0,33
			25	0,31	0,34
			30	0,40	0,43
			35	0,92	1,06
			38	1,76	1,44
			8	0,37	0,39
			10	0,41	0,41
LightSpeed Ultra, GE	25,7	849	15	0,29	0,31
			20	0,39	0,50
			25	0,47	0,53
			30	0,61	0,66
			35	1,40	1,63
			38	2,69	2,20
			8	0,19	0,21
			10	0,21	0,21
			15	0,15	0,17
			20	0,20	0,28
LightSpeed 16, GE	13,5	444	25	0,25	0,28
			30	0,32	0,35
			35	0,73	0,85

Brief messages

Окончание таблицы 3

Модель аппарата [CT-unit model]	CTDI ^{vol} , мГр [CTDI ^{vol} , mGy]	DLP, мГр×см [DLP, mGy×cm]	Срок беременности, неделя [Pregnancy period, week]	D ^{INCICT} _{матка} , мГр [D ^{INCICT} _{uterus} , mGy]	E ^{INCICT} _{плод} , мЗв [E ^{INCICT} _{fetus} , mSv]
Ingenuity Core 128, Philips	4,0	132	15	0,05	0,05
			20	0,06	0,08
			25	0,07	0,08
			30	0,10	0,10
			35	0,22	0,25
			38	0,42	0,34

Таблица 4

**Дозовые характеристики для беременных женщин при КТ органов грудной клетки для протоколов из отделений
КТ-диагностики медицинских организаций Санкт-Петербурга**

[Table 4

Dose characteristics for the pregnant women for the CT of the chest for the St-Petersburg protocols]

Модель аппарата [CT-unit model]	CTDI ^{vol} , мГр [CTDI ^{vol} , mGy]	DLP, мГр×см [DLP, mGy×cm]	Срок беременности, неделя [Pregnancy period, week]	D ^{INCICT} _{матка} , мГр [D ^{INCICT} _{uterus} , mGy]	E ^{INCICT} _{плод} , мЗв [E ^{INCICT} _{fetus} , mSv]
Siemens Emotion 16	6,1	202	8	0,09	0,09
			10	0,10	0,10
			15	0,07	0,08
			20	0,09	0,13
			25	0,11	0,12
			30	0,15	0,16
			35	0,33	0,39
			38	0,64	0,52
Philips Ingenuity 128	5,6	185	8	0,05	0,06
			10	0,06	0,06
			15	0,04	0,04
			20	0,06	0,08
			25	0,08	0,08
			30	0,10	0,10
			35	0,27	0,27
			38	0,53	0,38
Siemens Somatom Definition AS	9,3	306	8	0,13	0,14
			10	0,15	0,15
			15	0,10	0,12
			20	0,14	0,19
			25	0,17	0,19
			30	0,22	0,24
			35	0,50	0,59
			38	0,97	0,79
Siemens Somatom Scope	5,7	187	8	0,08	0,09
			10	0,09	0,09
			15	0,06	0,07
			20	0,09	0,12
			25	0,10	0,12
			30	0,14	0,15
			35	0,31	0,36
			38	0,59	0,49

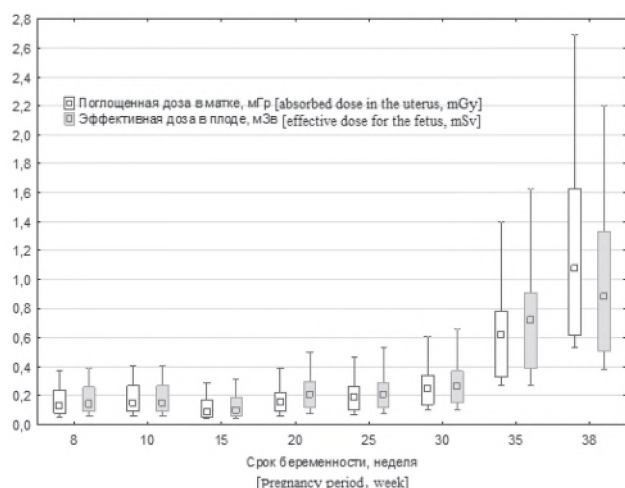


Рис. Сравнение поглощенной дозы в матке и эффективной дозы у плода для объединенной выборки компьютерных томографов для различных сроков беременности. Гистограммы представлены в формате: медиана, 25%–75%, минимум – максимум

[Fig.] Comparison between the absorbed dose in the uterus and effective dose for the fetus for the joint sample of CT-units for different pregnancy periods. Histograms are given as median, 25%–75% percentiles, minimum – maximum]

с помощью NCICT 3.0, для каждого срока беременности отсутствуют (тест Манна – Уитни, $p > 0,05$), что позволяет в дальнейшем использовать значения поглощенных доз в матке матери для оценки эффективной дозы у плода.

С 8-й по 20-ю недели беременности включительно медианные поглощенные дозы в матке матери практически не изменяются и находятся на уровне 0,1–0,15 мГр; максимальные – на уровне 0,4 мГр. С 25-й недели начинается рост поглощенных доз в среднем в полтора раза для каждого последующего срока беременности. Максимальные поглощенные дозы в матке составляют 0,5 мГр, 0,6 мГр, 1,4 мГр и 2,7 мГр для 25-й, 30-й, 35-й и 38-й недель соответственно.

Даже значения максимальных поглощенных доз в матке (плоде) (см. рис.), показывают, что для обследованных аппаратов и протоколов сканирования (см. табл. 1 и 2) порог развития детерминированных эффектов в плоде, принимаемый равным 100 мГр, вряд ли достижим даже при проведении многократных КТ-сканирований органов грудной клетки (вплоть до 10–15 раз) на любом сроке беременности. При этом дополнительных мер по защите области живота для беременной женщины также не требуется [29]. Использование средств индивидуальной защиты (свинцовые фартуки, пленки и пр.) для ограничения облучения таза матери может быть рекомендовано только для того, чтобы успокоить и эмоционально поддержать пациентку. При проведении КТ-органов грудной клетки поглощенная доза в матке (плоде) будет формироваться исключительно за счет рассеянного излучения в теле матери, на которое средства индивидуальной защиты не оказывают влияния.

Заключение

В данной работе были определены поглощенные дозы в матке матери, а также эффективные дозы у плода для разных сроков беременности и для различных протоколов КТ-сканирования органов грудной клетки, используемых в зарубежной и отечественной практике, в том числе и при подозрении на новую коронавирусную инфекцию COVID-19. Расчеты были выполнены с использованием специализированного программного обеспечения NCICT 3.0.

Результаты расчетов показывают, что поглощенные дозы в матке матери и эффективные дозы у плода достоверно не отличаются друг от друга для всех исследованных сроков беременности. Максимальные значения доз, определенные для обследованных протоколов сканирования, находятся примерно на уровне в 0,5 мГр (мЗв) для сроков 8–25 недель, 0,6 мГр (мЗв) для 30-й недели, 1,4 мГр (мЗв) для 35-й недели и 2,7 мГр (мЗв) для 38-й недели. При таких поглощенных дозах предел развития детерминированных эффектов в плоде, принимаемый равным 100 мГр, вряд ли достижим даже при проведении многократных КТ-сканирований органов грудной клетки (вплоть до 10–15 раз) на любом сроке беременности для исследованных протоколов сканирования.

Таким образом, проведение КТ органов грудной клетки в качестве метода выбора диагностики и стадирования COVID-19 для беременных женщин не должно приводить к развитию детерминированных эффектов у плода. Тем не менее, согласно требованиям законодательства в области радиационной безопасности, проведение такого исследования должно сопровождаться обязательной оценкой поглощенной дозы в плоде до и после проведения сканирования. В отечественной практике для этого целесообразно использовать коэффициенты перехода от произведения дозы на длину сканирования к поглощенной дозе в матке (плоде). Дальнейшие работы будут направлены на получение таких коэффициентов для различных анатомических областей сканирования с учетом различных параметров протоколов КТ-сканирования.

Литература

1. Elicker B.M. What Is the Performance and Role of CT in Suspected COVID-19 Infection? // *Radiology*. 2021. Vol. 289, No 2. P. 109-111. URL: <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiol.20202040130> (Дата обращения: 28.07.2021).
2. Dehan L., Lin L., Xin W., et al. Pregnancy and Perinatal Outcomes of Women with Coronavirus Disease (COVID-19) Pneumonia: A Preliminary Analysis // *American Journal of Roentgenology*. 2020. P. 127-132.
3. Водоватов А.В., Романович И.К., Историк О.А., и др. Предварительная оценка изменения структуры и коллективной дозы от КТ-исследований за период март-июнь 2020 г. в связи с диагностикой COVID-19 В Российской Федерации // *COVID-19 preprints*. 2020. 15 p.
4. Vodovatov A.V., Romanovich I.K., Istoriok O.A., et al. PREPRINT – Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in March // *MedRxiv – the preprint server for health sciences* – June 2020. 13 p. <https://doi.org/10.1101/2020.08.25.20181396>
5. Doll R., Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation // *British Journal of Radiology*. 1997. 70. P. 130-139.

6. Ministry of Health of the Russian Federation. Guidelines. Organization of medical care for pregnant women, women in labor, postpartum women and newborns with a new coronavirus infection COVID-19. Version 1 (04/24/2020). 2020. 143 p.
7. Ministry of Health of the Russian Federation. Guidelines. Prevention, diagnostics and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 10 (08.02.2021). 2021. 261 p.
8. American College of Radiology official website. Appropriateness-Criteria. On-Line resource. Available on: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/ACR-Appropriateness-Criteria> (Дата обращения: 28.07.2021).
9. iRefer official website – On-Line resource – Available on: <https://www.irefer.org.uk/> (Дата обращения: 28.07.2021).
10. ICRP. Pregnancy and Medical Radiation/ICRP // Annals of the ICRP. Publication 84. 2000. Vol. 30, № 1. 62 p.
11. Damilakis J., Perisinakis K., Tzedakis A., et al. Radiation Dose to the Conceptus from Multidetector CT during Early Gestation: A Method That Allows for Variations in Maternal Body Size and Conceptus Position. // Radiology. 2010. Vol. 257. № 2. 483-489 p.
12. The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists. Diagnostic Radiology and Pregnancy. Version 2.0. 2017. 16 p.
13. Tremblay E., Thérasse E., Thomassin-Naggara I., Trop I., et al. Quality Initiatives Guidelines for Use of Medical Imaging during Pregnancy and Lactation // Radiographics. 2012. Vol. 32, No 3. P. 897-911. doi: 10.1148/rg.323115120
14. ICRP. Recommendations International Commission on Radiation Protection 2007. Publication ICRP No. 103. Transl. from English / Ed. M.F.M. Kiselev and N.K. Shandala. M., Ed. LLC PKF «Alana», 2009. 312 p.
15. Международное Агентство по Атомной Энергии. Радиационная Защита и Безопасность Источников Излучения: Международные Основные Нормы Безопасности. Общие требования безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 3. Вена: МАГАТЭ, 2015. 250 с.
16. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide, №SSG-46. Vienna: IAEA, 2018. 318 p.
17. Angel E., Wellnitz C.V., Goodsitt M.M., et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size // Radiology. 2008. Vol. 249, No 1. P. 220-7. DOI:10.1148/radiol.2491071665
18. Huanhuan L., Fang L., Jining L., et al. Clinical and CT imaging features of the COVID-19 pneumonia: Focus on pregnant women and children // Journal of Infection. 2020. P. 7 – 13.
19. Winer-Muram H.T., Boone J.M., Brown H.L., et al. Pulmonary embolism in pregnant patients: fetal radiation dose with helical CT // Radiology. 2002. P. 487–492.
20. Shahir K., Goodman L.R., Tali A., et al. Pulmonary Embolism in Pregnancy: CT Pulmonary Angiography Versus Perfusion Scanning // American Journal of Roentgenology. 2010. Vol. 195. P. 214-220.
21. Lee C., Kim K.P., Bolch W.E., et al. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans // Journal of Radiology Protection. 2015. Vol. 35, No 4. P. 891–909. doi: 10.1088/0952-4746/35/4/891
22. Saltybaeva N., Platon A., Poletti P.-A., et al. Radiation Dose to the Fetus From Computed Tomography of Pregnant Patients—Development and Validation of a Web-Based Tool // Investigative Radiology. 2020. Vol. 55, No 12. P. 762–768. <https://www.fetaldose.org/calculator> doi:10.1097/rli.0000000000000701
23. Chipiga L., Golikov V., Vodovatov A., Bernhardsson Ch. Comparison of Organ Absorbed Doses in Whole-Body Computed Tomography Scans of Paediatric and Adult Patient Models Estimated by Different Methods // Radiation Protection Dosimetry. 2021. URL: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab086> (Дата обращения: 28.07.2021).
24. Chipiga L.A. A comparison of computational methods for estimation of effective and organ doses to the patients from CT examination // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017. Vol. 10, No 1. P. 56-64. (In Russian.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64>
25. Maynard M.R., Long N.S., Moawad N.S., et al. The UF Family of hybrid phantoms of the pregnant female for computational radiation dosimetry // Physics in Medicine and Biology. 2014. Vol. 59, No 15: 4325–4343. doi:10.1088/0031-9155/59/15/4325
26. Choonsik Lee. NCICT: user manual. 6p.
27. Huda W., Randazzo W., Tipnis S., et al. Embryo Dose Estimates in Body CT // American Journal of Radiology. 2010. Vol. 194. P. 874-880.
28. Matsunaga Yu., Kawaguchi A., Kobayashi M., et al. Fetal dose conversion factor for fetal computed tomography examinations: A mathematical phantom study // Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2017. Vol. 18, No 5. P. 330–335.
29. ACR. ACR–SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation. – 2018. – 23p. On-Line resource – URL: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf> (Дата обращения: 28.07.2021)
30. Xu X.G., Taranenko V., Zhang J., et al. A boundary-representation method for designing whole-body radiation dosimetry models: pregnant females at the ends of three gestational periods—RPI-P3, -P6 and -P9 // Physics in Medicine and Biology. 2007. Vol. 52. P. 7023–7044.
31. Stamm G., Nagel H.D. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide, 2014. 59p.
32. Lewis M.A., Edyvean S., Sassi S.A., et al. Estimating patient dose on current CT scanners: Results of the ImPACT CT dose survey // Radiations Magazine. 2000. Vol. 26. P. 17–18.
33. Sahbaee P., Segars W.P., Samei E., et al. Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories // Medical Physics. 2014. Vol. 41, № 7. P. 072104-1– 072104-12.

Поступила: 02.08.2021 г.

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. **Адрес для переписки:** 197101, ул. Мира 8, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: vodovattoff@gmail.com

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Минздрава России; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Пивень Павел Алексеевич – студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Высшей инженерно-физической школы, Санкт-Петербург, Россия

Труфанов Геннадий Евгеньевич – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского отдела, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации Института медицинского образования Центра Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Беркович Глеб Владимирович – заведующий кабинетом компьютерной томографии, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Мащенко Ирина Александровна – кандидат медицинских наук, заведующий группой – ведущий научный сотрудник научно-исследовательской группы лучевых методов исследования в перинатологии и педиатрии, ассистент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации Института медицинского образования Центра Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Дружинина Полина Сергеевна – младший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций, федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

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

Рыжов Сергей Анатольевич – вице-президент Ассоциации медицинских физиков России, научный сотрудник Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы; начальник отдела радиационной безопасности и медицинской физики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Россия

Для цитирования: Водоватов А.В., Чипига Л.А., Пивень П.А., Труфанов Г.Е., Беркович Г.В., Мащенко И.А., Дружинина П.С., Пузырев В.Г. Оценка поглощенных доз в плоде при проведении компьютерной томографии органов грудной клетки беременной женщины // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 126-135. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135

Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women

Aleksandr V. Vodovatov^{1,2}, Larisa A. Chipiga^{1,3,4}, Pavel A. Piven⁵, Gennadiy E. Trufanov⁴, Gleb V. Berkovich⁴, Irina A. Mashchenko⁴, Polina S. Druzhinina¹, Viktor G. Puzyrev², Sergey A. Ryzhov^{6,7}

¹ 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

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

³ Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

⁵ Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

⁶ Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

⁷ Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

The number and contribution of high dose imaging modalities, computed tomography in particular, is rapidly increasing both in the Russian Federation and other developed countries. Maximal increase in the number of computed tomography examinations in Russia was observed in 2020 due to the full-scale applica-

Aleksandr V. Vodovatov

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

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

tion of this imaging modality for the diagnostics of the novel coronavirus infection COVID-19. The use of computed tomography for the examination of the chest for the pregnant women is associated with several issues. An internationally accepted approach for the provision of the radiation safety of the pregnant patients is the assessment of the absorbed dose in the fetus after each X-ray examination. However, there are no existing approved methods for the assessment of the absorbed dose in the fetus in the Russian Federation. The aim of the current study was to assess the doses in the fetus for the pregnant women undergoing computed tomography of the chest due to the COVID-19 and to estimate the probability of the development of the deterministic effects for the fetus. The study was based on the collection of the parameter of Russian and international computed tomography protocols. Parameters of the international computed tomography protocols were collected via meta-analysis of the existing publications; Russian protocols – via data collection in computed tomography departments in St-Petersburg hospitals. Absorbed dose in the uterus of the female patient and effective dose for the fetus were calculated using NCICT 3.0 software for 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 38 weeks of pregnancy. The results of the calculations indicate the lack of significant differences between absorbed doses in the uterus and effective doses for the fetus for all stages of pregnancy. Maximal doses for the selected computed tomography protocols were in the range of 0.5 mGy (mSv) for 8–25 weeks, 0.6 mGy (mSv) for 30 week, 1.4 mGy (mSv) for 35 week and 2.7 mGy (mSv) for 38 week. The threshold for the development of the deterministic effects equal to 100 mGy cannot be exceeded even for repeated (10–15) computed tomography chest scans. Hence, the use of computed tomography as the primary method of COVID-19 diagnostics and staging will not be associated with the development of deterministic effects in the fetus.

Key words: computed tomography. Absorbed dose in the fetus, COVID-19, novel coronavirus infection.

References

- Elicker BM. What Is the Performance and Role of CT in Suspected COVID-19 Infection? *Radiology*. 2021;289(2): 109-111. Available on: <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiol.20202040130> (Accessed: 28.07.2021)
- Dehan L, Lin L, Xin W, et al. Pregnancy and Perinatal Outcomes of Women with Coronavirus Disease (COVID-19) Pneumonia: A Preliminary Analysis. *American Journal of Roentgenology*. 2020; 127-132.
- Vodovatov AV, Romanovich IK, Istorik OA, Eremina LA, Morozov SP, Ryzhov SA, et al. PREPRINT – Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in March. COVID-19 preprints-June 2020; 2020. 15. (In Russian)
- Vodovatov AV, Romanovich IK, Istorik OA, Eremina LA, Morozov SP, Ryzhov SA, et al. PREPRINT – Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in March. *MedRxiv* – the preprint server for health sciences. June 2020; 2020. 13 p. <https://doi.org/10.1101/2020.08.25.20181396>
- Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *British Journal of Radiology*. 1997;70: 130-139.
- Ministry of Health of the Russian Federation. Guidelines. Organization of medical care for pregnant women, women in labor, postpartum women and newborns with a new coronavirus infection COVID-19. Version 1 (04/24/2020); 2020. 143 p.
- Ministry of Health of the Russian Federation. Guidelines. Prevention, diagnostics and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 10 (08.02.2021); 2021. 261 p.
- American College of Radiology. Official website. Appropriateness-Criteria. On-Line resource. Available on: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/ACR-Appropriateness-Criteria> (Accessed: 28.07.2021).
- iRefer official website. Available on: <https://www.irefer.org.uk/> (Accessed: 28.07.2021).
- ICRP. Pregnancy and Medical Radiation. Annals of the ICRP. Publication 84. 2000;30(1): 62.
- Damilakis J, Perisinakis K, Tzedakis A, Papadakis A, Karantanis A. Radiation Dose to the Conceptus from Multidetector CT during Early Gestation: A Method That Allows for Variations in Maternal Body Size and Conceptus Position. *Radiology*. 2010;257(2): 483-489.
- The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists. Diagnostic Radiology and Pregnancy. Version 2.0; 2017. 16 p.
- Tremblay E, Thérèse E, Thomassin-Naggara I, Trop I. Quality Initiatives Guidelines for Use of Medical Imaging during Pregnancy and Lactation. *Radiographics*. 2012;32(3): 897-911. doi: 10.1148/rg.323115120
- ICRP. Recommendations International Commission on Radiation Protection 2007. Publication ICRP No. 103. Transl. from English. Ed. M.F. Kiselev and N.K. Shandala. Moscow: Ed. LLC PKF «Alana»; 2009. 312 p.
- International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General safety requirements. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2015. 250. (In Russian)
- International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide, N°SSG-46. Vienna: IAEA; 2018. 318.
- Angel E, Wellnitz CV, Goodsitt MM, et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size. *Radiology*. 2008;249(1): 220-7. DOI:10.1148/radiol.2491071665
- Huanhuan L, Fang L, Jining L, et al. Clinical and CT imaging features of the COVID-19 pneumonia: Focus on pregnant women and children. *Journal of Infection*. 2020; 7 – 13.
- Winer-Muram HT, Boone JM, Brown HL, et al. Pulmonary embolism in pregnant patients: fetal radiation dose with helical CT. *Radiology*. 2002; 487–492.
- Shahir K, Goodman LR, Tali A, et al. Pulmonary Embolism in Pregnancy: CT Pulmonary Angiography Versus Perfusion Scanning. *American Journal of Roentgenology*. 2010;195: 214-220.
- Lee C, 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 Radiation Protection*. 2015;35(4): 891–909. doi: 10.1088/0952-4746/35/4/891
- Saltybaeva N, Platon A, Poletti PA, Hinzpeter R, Merce MS, Alkadhi H. Radiation Dose to the Fetus from Computed Tomography of Pregnant Patients—Development and Validation of a Web-Based Tool. *Investigative Radiology*. 2020;55(12): 762–768. Available on: <https://www.fetal-dose.org/calculator>. doi:10.1097/rli.0000000000000701 (Accessed: 28.07.2021).

23. Chipiga L, Golikov V, Vodovatov A, Bernhardsson Ch. Comparison of Organ Absorbed Doses in Whole-Body Computed Tomography Scans of Paediatric and Adult Patient Models Estimated by Different Methods. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021. Online resource. Available from: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab086> (Accessed: 28.07.2021).
24. Chipiga LA. A comparison of computational methods for estimation of effective and organ doses to the patients from CT examination. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 56-64. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64>
25. Maynard MR, Long NS, Moawad NS, Shifrin RY, Geyer AM, Fong G, et al. The UF Family of hybrid phantoms of the pregnant female for computational radiation dosimetry. *Physics in Medicine and Biology*. 2014;59(15): 4325–4343. doi:10.1088/0031-9155/59/15/4325
26. Choonsik Lee. NCICT: user manual. 6 p.
27. Huda W, Randazzo W, Tipnis S, Frey GD, Mah E, et al. Embryo Dose Estimates in Body CT. *American Journal of Radiology*. 2010;194: 874-880.
28. Matsunaga Yu, Kawaguchi A, Kobayashi M, Suzuki Sh, Asada Ya, Ito K, et al. Fetal dose conversion factor for fetal computed tomography examinations: A mathematical phantom study. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2017;18(5): 330–335.
29. ACR. ACR–SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation. 2018. 23 p. Available on: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf> (Accessed: 28.07.2021).
30. Xu XG, Taranenko V, Zhang J, et al. A boundary-representation method for designing whole-body radiation dosimetry models: pregnant females at the ends of three gestational periods—RPI-P3, -P6 and -P9. *Physics in Medicine and Biology*. 2007;52: 7023–7044.
31. Stamm G, Nagel HD. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide; 2014. 59 p.
32. Lewis MA, Edyvean S, Sassi SA, et al. Estimating patient dose on current CT scanners: Results of the ImPACT CT dose survey. *Radiations Magazine*. 2000;26: 17–18.
33. Sahbaee P, Segars WP, Samei E, et al. Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories. *Medical Physics*. 2014;41(7): 072104-1– 072104-12.

Received: August 02, 2021

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – PhD, Researcher, Head of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovattoff@gmail.com)

Larisa A. Chipiga – Ph.D., research fellow, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; research fellow, Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies; docent, Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

Pavel A. Piven – Student of Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Higher Engineering Physics School, Saint-Petersburg, Russia

Gennady E. Trufanov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Research Institute of Radiation Diagnostics, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, Institute of Medical Education, Almazov Center, Saint-Petersburg, Russia

Gleb V. Berkovich – Head of the Computed Tomography department, V. Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg, Russia

Irina A. Mashchenko – PhD, Head of the Group – Leading Researcher of the Research Institute of Radiation Research in Perinatology and Pediatrics, Assistant of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, Institute of Medical Education, Almazov Center, Saint-Petersburg, Russia

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, Saint-Petersburg, Russia

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

Sergey A. Ryzhov – vice president of the Association of Medical Physicists in Russia, research fellow in the Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, head of the radiation safety and medical physics department of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

For citation: Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Piven P.A., Trufanov G.E., Berkovich G.V., Mashchenko I.A., Druzhinina P.S., Puzyrev V.G., Ryzhov S.A. Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 3, P. 126-135. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135