

Оценка доз облучения в плоде при проведении радионуклидной диагностики беременным

Чипига Л.А.^{1,2,3}, Милованова Е.К.⁴, Звонова И.А.¹, Водоватов А.В.^{1,5}, Важенина Д.А.², Станжевский А.А.²

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 Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Целью работы являлась оценка доз облучения плода при проведении процедур радионуклидной диагностики беременным пациенткам. Материалы и методы: Оценка поглощенных доз в плоде за счет радиофармацевтического препарата, вводимого матери при проведении процедур радионуклидной диагностики, была выполнена для наиболее распространенных процедур, проводимых в Российской Федерации, с использованием коэффициентов перехода от вводимой активности радионуклидов в радиофармацевтическом препарате к поглощенной дозе. Использовали типичные значения вводимых активностей радионуклидов для каждого радиофармацевтического препарата и коэффициенты перехода с учетом стадии беременности пациентки, на которой проводилось исследование. Для сравнения были определены поглощенные дозы в матке матери, как наиболее близкорасположенном органе. Для гибридных исследований поглощенные дозы в плоде от компьютерно-томографического сканирования матери на разных стадиях беременности были рассчитаны в программе FetalDose для типичных протоколов сканирования взрослых пациенток. Результаты исследования и обсуждение: Поглощенные дозы в плоде от вводимого радиофармацевтического препарата для большинства исследований не превышают 10 мГр. При проведении гибридных исследований, при которых зона компьютерно-томографического сканирования затрагивает область брюшной полости, доза от компьютерной томографии вносит наибольший вклад в суммарную дозу (не превышают 20 мГр), что обосновывает ограничение зоны сканирования или применение низкодозовых протоколов при сканировании всего тела. Исключением является исследование с ⁶⁷Ga-цитратом, при котором поглощенная доза в плоде может превышать 50 мГр; при этом наибольший вклад в дозу обусловлен вводимым матери радиофармацевтическим препаратом. Заключение: Полученные результаты показали, что для большинства процедур радионуклидной диагностики риски развития детерминированных эффектов в плоде или стохастических эффектов у ребенка от вводимого матери диагностического исследования минимальны. Целесообразно оценивать дозы и риски индивидуально для каждой пациентки с учетом клинической ситуации и истории рентгенологических исследований.

Ключевые слова: радионуклидная диагностика, ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ, беременная пациентка, поглощенные дозы в плоде, радиофармацевтические препараты, компьютерная томография.

Введение

Проведение рентгенорадиологических процедур беременным пациенткам требует дополнительного внимания как

к обоснованию назначения исследования в период беременности, так и к оптимизации радиационной защиты при проведении процедуры^{1,2} [1–3]. Согласно принятой международной парадигме, дополнительный риск развития

¹ СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» [Sanitary Regulations and Standards "Hygienic requirements for the design and operation of X-ray machines and the conduct of X-ray examinations. SanPiN 2.6.1.1192-03". (In Russ.)]

² СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). [Basic sanitary rules for radiation safety. Sanitary rules and regulations 2.6.1.2612-10 (In Russ.)]

Чипига Лариса Александровна

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: larisa.chipiga@gmail.com

у ребенка детерминированных и стохастических эффектов от проводимого матери диагностического исследования при дозах в плоде ниже 100 мГр (500 мГр в США) отсутствует [1, 5]. Таким образом, отсутствует необходимость отказа от необходимых диагностических исследований или прерывания беременности после проведения исследования [4, 6]. На протяжении всего периода беременности существуют риски нарушения внутриутробного развития плода, ассоциированные с облучением, которые зависят от стадии беременности и поглощенной дозы в плоде [4]:

- зародышевый (первые 7 дней после зачатия), во время которого существует риск потери эмбриона при пороговой дозе ~ 150 мГр, причем риск возрастает при росте дозы на 10 мГр от 0,5 % до 1 %;

- эмбриональный период (с 2 по 7 неделю после зачатия), во время которого существуют риски развития пороков развития (например, нейропатологии, задержки роста или другие пороки развития, которые затрагивают глаза, сердечно-сосудистую систему, почки и опорно-двигательный аппарат) при пороговой дозе ~ 250 мГр. Однако центральная нервная система менее уязвима к воздействию радиационного фактора во время эмбрионального периода;

- плодный период (с 8 по 40 неделю после зачатия), во время которого сохраняются риски пороков развития, особенно невропатологии и задержки роста у ребенка, в первом периоде (с 8 по 15 неделю) при пороговой дозе ~ 100 мГр, что связано с высокой скоростью митоза нейронов и их миграцией, и повышением пороговой дозы > 500 мГр в поздний плодный период (после 16 недели).

При проведении радионуклидной диагностики (РНД) используются радиофармацевтические лекарственные препараты (РФЛП), меченные радионуклидами, которые после введения пациенту распределяются в организме пациента, накапливаются в очагах и выводятся через органы выведения, чаще всего через мочевыделительную систему. Для большинства широко используемых в настоящее время РФЛП на основании клинических исследований разработаны биокинетические модели, которые позволяют оценить уровни накопления РФЛП в органах и тканях пациентов, а также дозы облучения пациентов от вводимого радионуклида и связанные с этим радиационные риски [7, 8, 9]. Некоторые РФЛП, меченные ^{99m}Tc и другими радионуклидами, слабо проникают через плаценту, не создавая высоких доз в плоде, так как облучение плода происходит за счет внешнего излучения радионуклидов, распределенных в организме матери вне плода, главным образом – от близко расположенного мочевого пузыря, через который происходит выведение радионуклида [10, 11]. Однако часть применяемых РФЛП могут проходить через плацентарный барьер и накапливаться в органах и тканях эмбриона³, например [1]: ^{99m}Tc -фосфаты и фосфонаты, ^{99m}Tc -пертехнетат, ^{99m}Tc -теоксим [12], ^{18}F -фтордезоксиглюкоза (ФДГ) [13, 14], РФЛП, меченные йодом [2, 15], и др.

По опубликованным данным дозы в плоде от большинства РНД-исследований не превышают 10 мГр на ранних сроках беременности и 3 мГр на поздних сроках [16]. Дополнительная доза от компьютерного томографического (КТ) сканирования может быть получена при гибридных исследованиях (однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с КТ – ОФЭКТ/КТ или позитронная эмиссионная томография, совмещенная с КТ – ПЭТ/КТ) [17]. Дозы в плоде от КТ-сканирования зависят от зоны сканирования; если плод не находится в зоне сканирования, то доза в плоде минимальна [3, 18]. В случае, если КТ-сканирование затрагивает область брюшной полости, доза плода выше; однако для большинства исследований она ниже порога, при котором повышается вероятность пороков развития или радиогенного рака у ребенка [1, 3].

Цель исследования – оценка поглощенных доз в плоде при проведении радионуклидных исследований матери в Российской Федерации.

Материалы и методы

Оценка поглощенных доз от РФЛП

Оценку дозы от вводимого РФЛП проводили на основании значений типичных активностей, вводимых взрослым пациентам⁴, с использованием специфических для каждого РФЛП коэффициентов перехода от активности радионуклида в РФЛП к поглощенной дозе, которые представлены в таблице 1:

- метод I – с использованием коэффициентов, позволяющих оценить поглощенную дозу для эмбриона на единицу активности РФЛП на четырех стадиях развития плода [16];

- метод II – считая поглощенную дозу в плоде эквивалентной поглощенной дозе в матке матери, которую определяют с использованием коэффициентов для оценки поглощенной дозы в матке женщины из Публикации МКРЗ 53 и 128 [7,9,18]. Этот метод не позволяет определить дозу в плоде на разных стадиях развития эмбриона.

Оценка поглощенных доз от КТ-сканирования для гибридных исследований

Для гибридных исследований определяли поглощенные дозы от КТ-сканирования на основании параметров протоколов проведения исследования с использованием специализированного программного обеспечения FetalDose [19]. Значения компьютерно-томографического индекса дозы (CTDI_{vol}) для типичных протоколов КТ-сканирования разных зон в рамках гибридных исследований взрослых пациентов на разных КТ-аппаратах, которые использовались при расчетах, представлены в таблице 2 [20].

³ ОФС. 1.11.0001. Общая фармакопейная статья. Радиофармацевтические лекарственные препараты (утв. и введена в действие Приказом Минздрава России от 20.07.2023 N 377) («Государственная фармакопея Российской Федерации. XV издание»). [OFS. 1.11.0001. General pharmacopoeial article. Radiopharmaceutical medicinal products (approved and put into effect by Order of the Ministry of Health of Russia dated 20.07.2023 N 377) ("State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XV edition") (In Russ.)]

⁴ Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. "Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований" [Methodological recommendations MR 2.6.1.0215-20. "Assessment of radiation risk in patients during X-ray and radiological examinations" (In Russ.)]

Таблица 1

Типичные активности радионуклидов в РФЛП, вводимые взрослым пациентам в Российской Федерации, и использованные коэффициенты перехода

[Table 1

Typical radiopharmaceutical activities administered to adult patients in the Russian Federation and the used conversion factors]

Исследование [Examination]	Активность, МБк [Activity, MBq]	Коэффициенты перехода, мГр/МБк [Conversion factors, mGy/MBq]				
		Метод I [15] [Method I]				Метод II [Method II]
		Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	6 месяцев [6 months]	9 месяцев [9 months]	
Все тело с ¹²³ I-МИБГ [Whole body ¹²³ I-mIBG]	250	0,018	0,012	0,0068	0,0062	0,011[9]
Щитовидная железа (ЩЖ) с ^{99m} Tc-пертехнетат [Thyroid ^{99m} Tc-pertechnetate]	250	0,011	0,022	0,014	0,0093	0,0081[7]
ЩЖ с ¹²³ I-Nal [Thyroid ¹²³ I-Nal]	10	0,02	0,014	0,011	0,0098	0,014 [9]
Все тело с ⁶⁷ Ga-цитрат [Whole body ⁶⁷ Ga-citrate]	250	0,093	0,2	0,18	0,13	0,076[7]
Скелет с ^{99m} Tc-фосфонаты [Skeleton of ^{99m} Tc - rh&ph]	600	0,006	0,0066	0,0036	0,0029	0,0062[7]
Почки с ^{99m} Tc-технемаг [Kidney ^{99m} Tc-MAG3]	150	0,018	0,014	0,0055	0,0052	0,012[7]
Почки с ^{99m} Tc-пентатех [Kidney ^{99m} Tc-DTPA]	150	0,012	0,0087	0,0041	0,0047	0,0079[7]
Почки с ^{99m} Tc-технемек [Kidney ^{99m} Tc-DMSA]	110	0,0051	0,0047	0,004	0,0034	0,0045[7]
Почки с ¹²³ I-гиппуран [Kidney ¹²³ I-hippuran]	30	0,031	0,024	0,0084	0,0079	0,017[9]
Легкие с ^{99m} Tc-макротех [Lungs ^{99m} Tc-MAA]	150	0,0028	0,004	0,005	0,004	0,0022[7]
Миокард с ^{99m} Tc-технетрил [Myocardium ^{99m} Tc-MIBI]	500	0,015	0,012	0,0084	0,0054	0,0078[7]
Печень с ^{99m} Tc-технефит [Liver ^{99m} Tc-colloid]	150	0,0032	0,0025	0,0028	0,0028	0,0011[7]
Печень с ^{99m} Tc-бромезида [Liver ^{99m} Tc-IDA]	150			-		0,011[7]
Все тело с ¹⁸ F-ФДГ [Whole body ¹⁸ F-FDG]	300					
Головной мозг с ¹⁸ F-ФДГ [Brain ¹⁸ F-FDG]	150	0,027	0,017	0,0094	0,0081	0,018[7]
Головной мозг с ¹¹ C-метионин [Brain ¹¹ C-methionine]	600					0,0068[7]

*Коэффициенты перехода для ^{99m}Tc-бромезида и ¹¹C-метионин не определены в работе [16] [Conversion factors for ^{99m}Tc-IDA and ¹¹C-methionine were not determined in the study [16]].

Таблица 2

Значения CTDI_{vol} на разных КТ-аппаратах для протоколов КТ-сканирования с технологией автоматической модуляции силы тока (AMCT) и без AMCT

[Table 2

The CTDI_{vol} for different CT models and scan protocols with automatic tube current modulation (ATCM) and without ATCM]

КТ - аппараты* [CT model]	Все тело, CTDI _{v32} , мГр [Whole body, CTDI _{v32} , mGy]		Грудная клетка, CTDI _{v32} , мГр [Chest, CTDI _{v32} , mGy]		Голова/шея, CTDI _{v16} , мГр [Head/neck, CTDI _{v32} , mGy]	
	с AMCT [with ATCM]	без AMCT [without ATCM]	с AMCT [with ATCM]	без AMCT [without ATCM]	с AMCT [with ATCM]	без AMCT [without ATCM]
GE LightSpeed (Average), General Electric	5,7	10,8	9,5	10,8	5,2	21,1
Optima 600, General Electric	4,2	8,0	3,7	8,0	4,0	16,2

КТ - аппараты* [CT model]	Все тело, CTDI _{v32} , мГр [Whole body, CTDI _{v32} , mGy]		Грудная клетка, CTDI _{v32} , мГр [Chest, CTDI _{v32} , mGy]		Голова/шея, CTDI _{v16} , мГр [Head/neck, CTDI _{v32} , mGy]	
	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]
Somatom Definition (Average), Siemens	3,6	6,7	5,9	6,7	3,5	14,4
Somatom Definition 64 (narrow BF), Siemens	3,5	6,5	5,7	6,5	3,7	15,2
Somatom Definition 64 (wide BF), Siemens	4,2	8,0	7,1	8,0	4,2	17,2
Somatom Emotion 16, Siemens	5,4	10,2	9,0	10,2	5,4	21,8
Somatom Emotion 6, Siemens	6,5	12,2	10,8	12,2	6,2	25,2
Somatom Emotion Duo, Siemens	4,4	8,2	7,2	8,2	4,4	17,8
Somatom Sensation 40, Siemens	3,6	6,8	6,0	6,8	3,5	14,2

* Длина сканирования: все тело – 1635 мм, грудная клетка – 375 мм, голова – 180 мм, шея – 90 мм [Scan length: whole body – 1635 mm, chest – 375 mm, head – 180 mm, neck – 90 mm]

Дозы пациентов при проведении гибридных исследований определяли как сумму доз от вводимого РФЛП и от КТ-сканирования соответствующей зоны. При этом учитывали, затрагивает ли зона интереса при исследовании область брюшной полости. Считали, что в случае исследования органов брюшной полости и всего тела плод будет полностью попадать в зону КТ-сканирования и для исследований всего тела, скелета, почек и печени использовали значения доз для протокола «Все тело». При исследовании легких и миокарда, а также в некоторых случаях при исследованиях скелета либо всего тела с ¹²³I-МИБГ или ⁶⁷Ga-цитрата, зона интереса и, соответственно, КТ-сканирования может граничить с областью брюшной полости и может частично затрагивать плод; поэтому для этих исследований использовали значения доз для протокола «Грудная клетка». При исследовании ЩЖ использовали значения доз для протокола шеи, а при исследовании головы – для протокола головы.

Обработку полученных результатов проводили с помощью программного обеспечения MS Excel.

Результаты и обсуждение

Поглощённые дозы в плоде при рутинных РНД-исследованиях

Поглощенные дозы в плоде от вводимого РФЛП, определенные двумя методами, представлены в таблице 3. Почти при всех исследованиях, проводимых в Российской Федерации, дозы в плоде от вводимого РФЛП – в пределах 10 мГр. Исключением является исследование всего тела с ⁶⁷Ga-цитратом, доза при котором может варьировать от 20 мГр при проведении исследования в первые недели после зачатия и достигать 50 мГр в первом триместре беременности, что является половиной пороговой дозы (100 мГр) для рассмотрения прерывая беременность.

Таблица 3

Поглощенные дозы от РФЛП в плоде

[Table 3]

Absorbed doses from radiopharmaceuticals in fetus

Исследуемый орган и РФЛП [Organ of interest]	Поглощенные дозы, мГр [Absorbed doses, mGy]				
	Метод I [15] [Method I]				Метод II [Method II]
	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	
Все тело с ¹²³ I-МИБГ [Whole body ¹²³ I-MIBG]	4,5	3,0	1,7	1,5	2,8
ЩЖ с ^{99m} Tc-пертехнетат [Thyroid ^{99m} Tc-pertechnetate]	2,8	5,5	3,5	2,3	2,0
ЩЖ с ¹²³ I-NaI [Thyroid ¹²³ I-NaI]	0,2	0,14	0,11	0,098	0,14
Все тело с ⁶⁷ Ga-цитрат [Whole body ⁶⁷ Ga-citrate]	23	50	45	33	19
Скелет с ^{99m} Tc-фосфонаты [Skeleton of ^{99m} Tc - ph&ph]	3,6	3,9	2,2	1,7	3,7
Почки с ^{99m} Tc-технемаг [Kidney ^{99m} Tc-MAG3]	2,7	2,1	0,83	0,78	1,8

Исследуемый орган и РФЛП [Organ of interest]	Поглощенные дозы, мГр [Absorbed doses, mGy]				
	Метод I [15] [Method I]				Метод II [Method II]
	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	
Почки с ^{99m} Tc-пентатех [Kidney ^{99m} Tc-DTPA]	1,8	1,3	0,62	0,71	1,2
Почки с ^{99m} Tc-технемек [Kidney ^{99m} Tc-DMSA]	0,56	0,52	0,44	0,37	0,50
Почки с ¹²³ I-гиппуран [Kidney ¹²³ I-hippuran]	0,93	0,72	0,25	0,24	0,51
Легкие с ^{99m} Tc-макротех [Lungs ^{99m} Tc-MAA]	0,42	0,6	0,75	0,6	0,33
Миокард с ^{99m} Tc-технетрил [Myocardium ^{99m} Tc-MIBI]	7,5	6	4,2	2,7	3,9
Печень с ^{99m} Tc-технефит [Liver ^{99m} Tc-colloid]	0,48	0,38	0,42	0,42	0,17
Печень с ^{99m} Tc-бромезида [Liver ^{99m} Tc-IDA]		—*		1,7	
Все тело с ¹⁸ F-ФДГ [Whole body ¹⁸ F-FDG]	8,1	5,1	2,8	2,4	5,4
Головной мозг с ¹⁸ F-ФДГ [Brain ¹⁸ F-FDG]	4,1	2,6	1,4	1,2	2,7
Головной мозг с ¹¹ C-метионин [Brain ¹¹ C-methionine]		—*		4,1	

*Коэффициенты перехода и поглощенные дозы для ^{99m}Tc-бромезида и ¹¹C-метионин не определены в работе [16] [Conversion factors and absorbed doses for ^{99m}Tc-IDA and ¹¹C-methionine were not determined in the study [16]]

Результаты расчётов демонстрируют, что, как правило, при проведении исследования на более поздних сроках беременности поглощённая доза в плоде ниже, чем на более ранних. Исключением являются исследования ЩЖ с ^{99m}Tc-пертехнетатом, всего тела с ⁶⁷Ga-цитратом, легких с ^{99m}Tc-макротехом, когда поглощенные дозы в плоде при проведении исследования в первые недели после зачатия ниже по сравнению с проведением исследования на более поздних сроках.

Метод II оценки доз в плоде от вводимого РФЛП (на основании доз в матке матери) может приводить как к завышению, так и к занижению дозы. На ранних сроках беременности в некоторых случаях отмечается недооценка дозы более чем в 2 раза. Сравнение доз от РФЛП в плоде на разных стадиях, определенных методом I, с дозами, определенными

методом II, представлено на рисунке 1. Например, при исследовании печени с ^{99m}Tc-технефитом доза, оцененная методом II, более чем в 2 раза ниже, чем доза, оцененная методом I, для всех сроков. Также большие отклонения (занижение более чем на 50 %) доз в плоде в первые недели после зачатия были получены для исследований почек с ^{99m}Tc-технемага, ^{99m}Tc-пентатеха и ¹²³I-гиппурана, всего тела с ¹²³I-МИБГ и ¹⁸F-ФДГ, а также миокарда с ^{99m}Tc-технетрилом; для других исследований недооценка не превышала 50 %. При проведении исследований во втором и третьем триместре оценка доз при использовании метода II может привести к переоценке доз вплоть до 50 % (при исследовании скелета с ^{99m}Tc-фосфатами и фосфонатами, почек с ^{99m}Tc-технемагом, ^{99m}Tc-пентатехом и ¹²³I-гиппураном, всего тела и головного мозга с ¹⁸F-ФДГ).

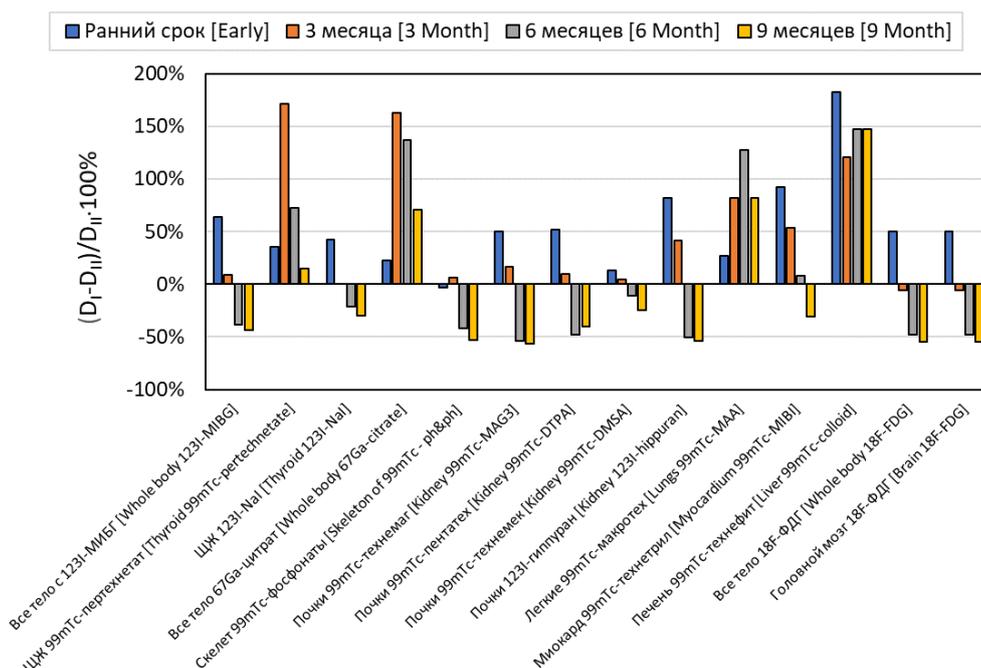


Рис. 1. Сравнение поглощенных доз в плоде от РФЛП, определенных двумя разными методами [Fig. 1. Comparison of fetal absorbed doses from radiopharmaceuticals determined by two different methods]

Поглощенные дозы при гибридных исследованиях

Дополнительную дозу в рамках гибридных исследований плод получает от КТ-сканирования. Доза в плоде при КТ-сканировании будет в значительной мере определяться зоной интереса. В случае обследования области брюшной полости или всего тела плод будет находиться

в зоне сканирования, в случае сканирования соседних зон плод может быть частично облучен за счет воздействия прямого пучка или рассеянного излучения. Поглощенные дозы в плоде при КТ-сканировании всего тела и грудной клетки матери на разных стадиях беременности представлены на рисунках 2 и 3 соответственно. При КТ-сканировании головы или шеи матери доза в плоде – менее 0,1 мкГр за счет удаленности.

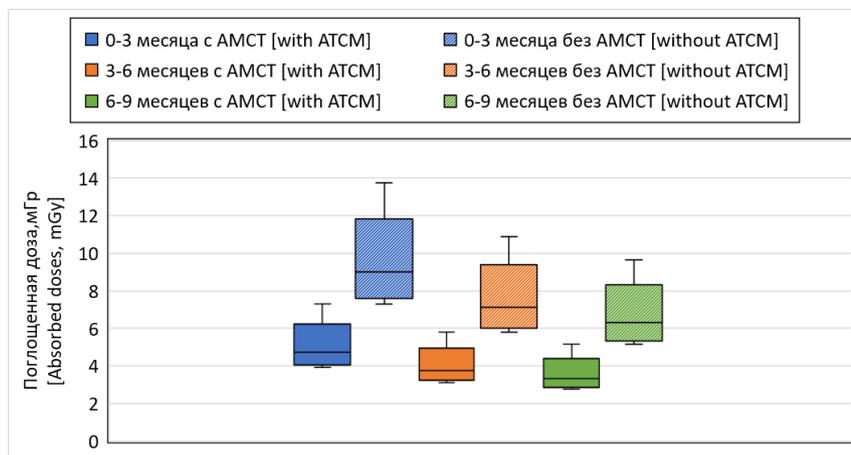


Рис. 2. Поглощенные дозы в плоде при КТ-сканировании всего тела в рамках гибридных исследований матери на разных стадиях беременности с АМСТ и без АМСТ. Черта – медиана, бокс – 25-75%, усы – мин-макс.

[Fig. 2. Fetal absorbed doses from whole body CT scans in hybrid examinations at gestational stages for CT protocols with ATCM and without ATCM. Dash – median, box – 25-75%, whiskers – min-max]

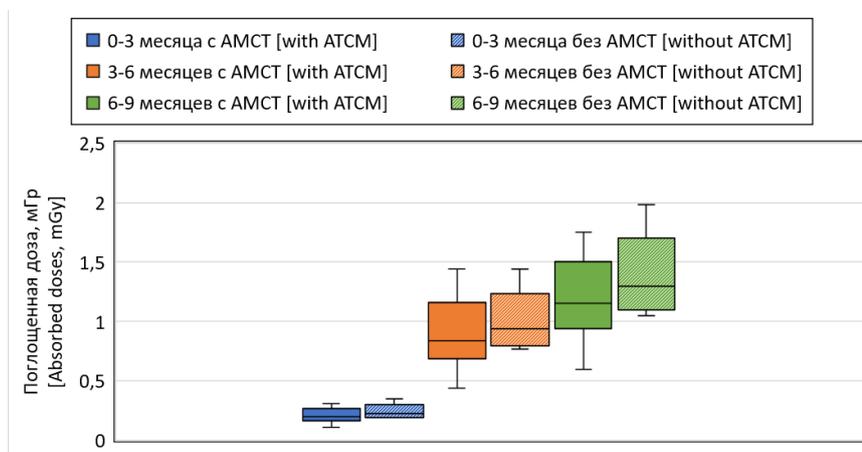


Рис. 3. Поглощенные дозы в плоде от КТ-сканировании грудной клетки в рамках гибридных исследований матери на разных стадиях беременности для протоколов КТ-сканирования с АМСТ и без АМСТ. Черта – медиана, бокс – 25-75%, усы – мин-макс.

[Fig. 3. Fetal absorbed doses from chest CT scans in hybrid examinations at different gestational stages for CT protocols with ATCM and without ATCM. Dash – median, box – 25-75%, whiskers – min-max]

При КТ-сканировании матери в первом триместре беременности, когда плод полностью находится в зоне сканирования, поглощенная доза в плоде не превышает 15 мГр и снижается при проведении сканирования в более поздние сроки. Стоит отметить существенный разброс поглощенных доз в плоде (до трех раз могут различаться дозы от одного исследования) при проведении исследований на разных аппаратах при типичных протоколах сканирования. Использование функции АМСТ при проведении

сканирования зоны, захватывающей плод, позволяет почти в 2 раза снизить поглощенную дозу в плоде. При сканировании зоны, не захватывающей плод (например, грудной клетки), поглощенная доза в плоде не превышает 2 мГр, при этом доза в таком случае будет ниже в более ранние сроки беременности, когда размер плода минимален.

Результаты оценки суммарных поглощенных доз в плоде при гибридных исследованиях представлены в таблице 4.

Поглощённые дозы в плоде при проведении гибридных исследований матери на разных сроках беременности с использованием протоколов КТ-сканирования с АМСТ и без АМСТ

Fetal absorbed doses during hybrid studies at different gestational stages using CT protocols with ATCM and without ATCM]

Исследование [Examination]	Ранний период [Early]		3 месяца [3 months]		6 месяцев [6 months]		9 месяцев [9 months]	
	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]						
Все тело с ¹²³ I-МИБГ (КТ всего тела) [Whole body ¹²³ I-MIBG (Whole body CT)]	13	9,2	12	7,7	8,9	5,5	7,9	4,9
Все тело с ¹²³ I-МИБГ (КТ грудной клетки) [Whole body ¹²³ I-MIBG (Chest CT)]	4,7	4,7	3,2	3,2	2,6	2,5	2,9	2,7
ЩЖ с ^{99m} Tc-пертехнетат (КТ шеи) [Thyroid ^{99m} Tc-pertechnetate (CT scan of the neck)]	2,8	2,8	5,5	5,5	3,5	3,5	2,3	2,3
ЩЖ с ¹²³ I-Nal (КТ шеи) [Thyroid ¹²³ I-Nal (Neck CT)]	0,2	0,2	0,14	0,14	0,11	0,11	0,098	0,098
Все тело с ⁶⁷ Ga-цитрат (КТ всего тела) [Whole body ⁶⁷ Ga-cit- rate (Whole body CT)]	32	28	59	55	52	49	39	36
Все тело с ⁶⁷ Ga-цитрат (КТ грудной клетки) [Whole body ⁶⁷ Ga-citrate (Chest CT)]	23	24	50	50	46	46	34	34
Скелет с ^{99m} Tc-фосфонаты (КТ всего тела) [Skeleton of ^{99m} Tc - ph&ph (Whole body CT)]	13	8,3	13	8,7	9,3	5,9	8,1	5,1
Скелет с ^{99m} Tc-фосфонаты (КТ грудной клетки) [Skeleton of ^{99m} Tc - ph&ph (Chest CT)]	3,8	3,8	4,2	4,2	3,1	3	3,0	2,9
Почки с ^{99m} Tc-технемаг (КТ всего тела) [Kidney ^{99m} Tc-MAG3 (Whole body CT)]	12	7,4	11	6,8	7,9	4,6	7,1	4,1
Почки с ^{99m} Tc-пентатех (КТ всего тела) [Kidney ^{99m} Tc-DTPA (Whole body CT)]	11	6,5	10	6,03	7,8	4,4	7,0	4,0
Почки с ^{99m} Tc-технемек (КТ всего тела) [Kidney ^{99m} Tc-DMSA (Whole body CT)]	9,6	5,3	9,5	5,3	7,6	4,2	6,7	3,7
Почки с ¹²³ I-гиппуран (КТ всего тела) [Kidney ¹²³ I-hippuran (Whole body CT)]	9,9	5,7	9,7	5,5	7,4	4,0	6,6	3,6
Легкие с ^{99m} Tc-макротех (КТ грудной клетки) [Lungs ^{99m} Tc-MAA (Chest CT)]	0,65	0,62	0,83	0,8	1,7	1,6	1,9	1,8
Миокард с ^{99m} Tc-технетрил (КТ грудной клетки) [Myocardium ^{99m} Tc-MIBI (Chest CT)]	7,7	7,7	6,2	6,2	5,1	5,0	4	3,8
Печень с ^{99m} Tc-технефит (КТ всего тела) [Liver ^{99m} Tc-colloid (Whole body CT)]	9,5	5,2	9,4	5,1	7,6	4,2	6,8	3,8
Печень с ^{99m} Tc-бромезида (КТ всего тела) [Liver ^{99m} Tc-IDA (Whole body CT)] *	11	6,4	11	6,4	8,8	5,4	7,9	4,9
Все тело с ¹⁸ F-ФДГ (КТ всего тела) [Whole body ¹⁸ F-FDG (Whole body CT)]	17	13	14	9,8	9,9	6,6	8,8	5,8

Исследование [Examination]	Ранний период [Early]		3 месяца [3 months]		6 месяцев [6 months]		9 месяцев [9 months]	
	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]						
Головной мозг с ¹⁸ F-ФДГ (КТ головы) [Brain ¹⁸ F-FDG (Head CT)]	4,1	4,1	2,6	2,6	1,4	1,4	1,2	1,2
Головной мозг с ¹¹ C-метионин (КТ головы) [Brain ¹¹ C-methionine (Head CT)] *	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1

* Для исследований с ^{99m}Tc-бромезида и ¹¹C-метионин использованы значения поглощенных доз от РФЛП, определенных методом II для всех сроков беременности [The doses from radiopharmaceuticals determined based on method II were used for examinations with ^{99m}Tc-IDA and ¹¹C-methionine].

Для большинства гибридных исследований, проводимых в Российской Федерации, поглощенные дозы в плоде составляют не более 20 мГр и не превысят порог в 100 мГр даже в случае проведения многофазного КТ-сканирования. Это свидетельствует о низких дополнительных рисках отклонений развития у ребенка или рака в детском возрасте от проводимого матери диагностического исследования. При проведении гибридных исследований, при которых зона КТ-сканирования затрагивает область брюшной полости, доза в плоде за счет КТ-сканирования вносит наибольший вклад в итоговую дозу, что обуславливает применение низкодозовых протоколов КТ-сканирования с использованием АМСТ при ПЭТ/КТ-исследованиях всего тела и ограничений зон сканирования при ОФЭКТ/КТ-исследованиях. Следует отметить, что высокодозовое КТ-исследование в рамках гибридного исследования может проводиться как альтернатива отдельному диагностическому КТ; в таком случае применение стандартных (высоккодозовых) протоколов оправдано. Исключением является исследование с ⁶⁷Ga-цитратом при котором доза в плоде может превышать 50 мГр, при этом наибольший вклад в дозу обусловлен вводимым матери РФЛП. С учетом такой высокой дозы облучения плода при этом виде исследования и высокой вероятности проведения дополнительных исследований лучевой диагностики, с точки зрения радиационной защиты пациентки целесообразно проведение альтернативного исследования.

Для большинства РНД-исследований доза в плоде и риск врожденных патологий, связанных с проведением исследования матери, существенно ниже после 16-й недели беременности, поэтому с точки зрения радиационной защиты целесообразно проведение исследования во второй половине беременности. При проведении исследования рекомендуется гидратация и частое мочеиспускание пациентки после введения РФЛП, которые выводятся почками, что позволит снизить дозу в плоде. Для снижения вероятности непреднамеренного облучения беременной пациентки рекомендуется проведение особенного информирования пациенток детородного возраста о радиационных рисках и проведение теста на беременность перед исследованием.

Согласно опубликованным данным, дополнительный риск одного рака в детском возрасте (не смерти) от внутриутробного облучения приходится на 1700 случаев облучений в дозе 10 мГр [12]. При облучении исследования этот риск стоит сопоставлять с риском недодиагностики матери и связанных с этим осложнений с учетом состояния пациентки. Дополнительно стоит учитывать дозу от других исследований, проведенных пациентке за время беременности, методами лучевой диагностики.

Заключение

Полученные в работе результаты показали, что при проведении исследований на ранних стадиях беременности поглощенные дозы в плоде от вводимого матери РФЛП будут выше, чем при проведении исследований на более поздних сроках. Наибольшие дозы для плода соответствуют исследованию всего тела с помощью ⁶⁷Ga-цитрата и достигают 50 мГр при проведении исследования в первые месяцы беременности.

Использование дозы в матке матери для оценки дозы в плоде от вводимого РФЛП не рекомендуется, так как может привести к существенной (до двух раз) недооценке дозы и, соответственно, риска от проводимого исследования.

Поглощенные доз в плоде от КТ-сканирования матери в первом триместре беременности, когда плод полностью находится в зоне сканирования, поглощенная доза в плоде не превышает 14 мГр и снижается при проведении сканирования в более поздние сроки. При сканировании зоны, не захватывающей плод (например, грудная клетка), доза в плоде не превышает 2 мГр, при этом доза в таком случае будет ниже в более ранние сроки беременности, когда размер плода минимален. При сканировании головы или шеи матери доза в плоде – менее 0,1 мГр за счет удаленности зоны сканирования. Использование функции АМСТ при проведении сканирования беременной пациентке позволяет почти в 2 раза снизить поглощенную дозу в плоде. Поглощенные дозы в плоде при проведении гибридных исследований беременным пациенткам находятся в пределах 20 мГр. Только при исследовании всего тела с ⁶⁷Ga-цитратом за счет высокой дозы от РФЛП суммарная доза составляет более 50 мГр, что является половиной пороговой дозы для рассмотрения возможности прерывания беременности.

Полученные результаты показали, что при большинстве РНД-исследований возникновение пороков развития у плода от проводимого матери диагностического исследования ниже порога детектирования (ниже фонового уровня реализации данных патологий в популяции). Однако необходимо тщательно оценивать дозы и риски для каждой отдельной пациентки с учетом клинической ситуации и истории рентгенорадиологических исследований.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – научное руководство исследованием, определение цели, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, поиск литературы, проведение расчетов, анализ полученных результатов, написание текста.

Милованова Е.К. – анализ литературы, проведение расчетов, описание результатов.

Звонова И.А. – анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Водоватов А.В. – анализ литературы, проверка расчетов, редактирование статьи.

Важенина Д.А. – анализ результатов, проведение расчетов, описание результатов.

Станжевский А.А. – анализ литературы, проведение расчетов, описание результатов.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора «Разработка и научное обоснование комплекса мер по обеспечению радиационной защиты в ядерной медицине».

Литература

- ICRP. Pregnancy and Medical Radiation. ICRP Publication 84 // Annals of the ICRP. 2000, No 30(1).
- International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. IAEA Safety Standards Series - IAEA, Vienna, 2018. № SSG-46.
- Водоватов А.В., Гольченко О.А, Мащенко И.А. и др. Оценка поглощенных доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 2. С. 170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>.
- Applegate K.E., Findlay Ú., Fraser L. et al. Radiation exposures in pregnancy, health effects and risks to the embryo/foetus-information to inform the medical management of the pregnant patient // Journal of Radiological Protection. 2021. Vol. 41, № 4. DOI: [10.1088/1361-6498/ac1c95](https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac1c95).
- U.S. Center for disease control and prevention, 2025. Radiation and Pregnancy: Information for Clinicians. URL: https://www.cdc.gov/radiation-emergencies/hcp/clinical-guidance/pregnancy.html#cdc_generic_section_1-how-to-use-this-document (Дата обращения: 01.07.2025).
- Кузнецов П.А., Оленев А.С., Джохадзе Л.С., Селиверстова О.М. Влияние ионизирующего излучения на плод // Российский вестник акушера-гинеколога. 2018. Т. 18, № 5. С. 32–35.
- ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128 // Annals of the ICRP. 2015. № 44(2S).
- ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80 // Annals of the ICRP. 1998. № 28 (3).
- ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53 // Annals of the ICRP. 1988. № 18 (1-4).
- Palestro C.J., Malat J., Collica C.J. et al. Incidental diagnosis of pregnancy on bone and gallium scintigraphy // Journal of Nuclear Medicine. 1986. Vol. 27. P. 370–372.
- Baker J., Ali A., Groch M.W. et al. Bone scanning in pregnant patients with breast carcinoma // Clinical Nuclear Medicine. 1987. Vol. 12. P. 519–524.
- Maguire C., Florence S., Powe J.E. et al. Hepatic uptake of technetium-99m HM-PAO in a fetus // Journal of Nuclear Medicine. 1990. Vol. 31. P. 237–239.
- Hsieh T.C., Wu Y.C., Sun S.S. et al. FDG PET/CT of a late-term pregnant woman with breast cancer // Clinical Nuclear Medicine. 2012. Vol. 37. P. 489–491.
- Dong A., Wang Yu., Lu J. et al. Spectrum of the Breast Lesions With Increased 18F-FDG Uptake on PET/CT // Clinical Nuclear Medicine. 2016. Vol. 41, № 7. P. 543–57.
- Chamroonrat W., Sritara C., Utamakul C. et al. Unexpectedly expected fetal Thyroid function on posttreated radioiodine (131I) SPECT/CT of a patient with differentiated Thyroid cancer // Clinical Nuclear Medicine. 2014. Vol 39. P. 1017–1018.
- Russell J.R., Stabin M.G., Sparks R.B. et al. Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals // Health Physics. 1997. Vol. 73, № 5. P. 756–69.
- Bebbington N.A., Haddock B.T., Bertilsson H. et al. A Nordic survey of CT doses in hybrid PET/CT and SPECT/CT examinations // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Physics. 2019. Vol. 6. P. 24.
- Алексеева Д.В., Чипига Л.А., Хугорной И.В. и др. Оценка поглощенных доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 2. С. 170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>.
- Fetaldose.org: Оценка дозы облучения плода. URL: <https://www.fetaldose.org/calculator.html> (Дата обращения: 29.07.2025).
- Дружинина П.С., Чипига Л.А., Водоватов А.В. и др. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно-томографических исследований всего тела с захватом нижних конечностей пациента // Радиационная гигиена. 2024, Т. 17, № 4. С. 126–134.

Поступила: 16.07.2025

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9153-3061

Милованова Елизавета Константиновна – студентка Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0009-0000-8346-2363

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0003-4340-8666

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

и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Важенина Дарья Андреевна – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории тераностики онкологических заболеваний Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, доцент ВАК, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-6236-709X

Станжевский Андрей Алексеевич – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-1630-0564

Для цитирования: Чипига Л.А., Милованова Е.К., Звонова И.А., Водоватов А.В., Важенина Д.А., Станжевский А.А. Оценка доз облучения в плоде при проведении радионуклидной диагностики беременным // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 18–28. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-18-28

Fetus doses from radionuclide diagnostic of pregnant patients

Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Elizaveta K. Milovanova⁴, Irina A. Zvonova¹, Aleksandr V. Vodovатов^{1,5}, Daria A. Vazhenina², Andrey A. Stanzhevsky²

¹ Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

² A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

³ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

⁴ Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

⁵ Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

The aim of the work was to estimate the radiation doses to the fetus during radionuclide diagnostic procedures in pregnant patients. Materials and Methods: The absorbed doses to the fetus due to the radiopharmaceutical administered to the mother during radionuclide diagnostic procedures were estimated for the most common procedures performed in the Russian Federation using the conversion factors from the administered activity of radionuclides in the radiopharmaceutical to the absorbed dose. Typical values of the administered activities of radionuclides for each radiopharmaceutical and the conversion factors taking into account the stage of pregnancy of the patient at which the study was conducted were used. For comparison, the absorbed doses to the mother's uterus, as the closest organ, were determined. For hybrid studies, the absorbed doses to the fetus from maternal CT scans at different stages of pregnancy were calculated in the FetalDose program for typical scanning protocols for adult patients. Results and Discussion: The absorbed doses to the fetus from the administered radiopharmaceutical for most studies do not exceed 20 mGy. In hybrid studies where the CT scan area includes the abdominal region, the CT dose is the largest contributor to the total dose, justifying a scan area limitation or low-dose protocols for whole-body scanning. An exception is the ⁶⁷Ga-citrate study, where the absorbed dose to the fetus may exceed 50 mGy, with the largest contribution to the dose coming from the maternally administered radiopharmaceutical. Conclusion: The results obtained indicate that for most nuclear medicine procedures, the risks of deterministic effects in the fetus or stochastic effects in the child from the maternal diagnostic examination are minimal. It is advisable to assess doses and risks for each individual patient, taking into account the clinical situation and radiographic history.

Key words: radionuclide diagnostics, SPECT/CT, PET/CT, pregnant patient, absorbed doses in the fetus, radiopharmaceuticals, computed tomography.

Authors' personal contribution

Chipiga L.A. – scientific management of the study, determination of the aim of the study, development of the study design, formulation of the scientific conjectures, calculations, analysis of the results, writing the text of the article.

Milovanova E.K. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Zvonova I.A. – analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Vodovатов A.V. – analysis of literature, calculations verification, editing the draft of the article.

Vazhenina D.A. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Stanzhevsky A.A. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Larisa A. Chipiga

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

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

Sources of funding

The work was performed as a part of the program of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing “Development and scientific justification of a set of measures to ensure radiation protection in nuclear medicine”.

References

1. ICRP. Pregnancy and Medical Radiation. ICRP Publication 84. *Annals of the ICRP*. 2000;30(1).
2. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. IAEA Safety Standards Series - IAEA, Vienna; 2018. №. SSG-46.
3. Vodovatov AV, Golchenko OA, Mashchenko IA, Alekseeva DV, Chipiga LA, Khutornoy IV, et al. Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients: A systematic review. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2): 170-184. (In Russian). DOI: 10.17816/DD472150.
4. Applegate KE, Findlay Ú, Fraser L, Kinsella Y, Ainsbury L, Bouffler S. Radiation exposures in pregnancy. health effects and risks to the embryo/foetus-information to inform the medical management of the pregnant patient. *Journal of Radiological Protection*. 2021;41(4). DOI: 10.1088/1361-6498/ac1c95.
5. U.S. Center for disease control and prevention, 2025. Radiation and Pregnancy: Information for Clinicians. Available from: https://www.cdc.gov/radiation-emergencies/hcp/clinical-guidance/pregnancy.html#cdc_generic_section_1-how-to-use-this-document. [Accessed July 01, 2025].
6. Kuznetsov PA, Olenev AS, Dzhokhadze LS, Seliverstova OM. Impact of ionizing radiation on the fetus. *Rossiyskiy Vestnik Akushera-Ginekologa = Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist*. 2018;18(5): 32-35. (In Russian).
7. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. *Annals of the ICRP*. 2015;44(2S).
8. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80. *Annals of the ICRP* 1998;28(3).
9. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. *Annals of the ICRP*. 1988;18(1-4).
10. Palestro CJ, Malat J, Collica CJ, Richman AH. Incidental diagnosis of pregnancy on bone and gallium scintigraphy. *Journal of Nuclear Medicine*. 1986;27: 370-372.
11. Baker J, Ali A, Groch MW, Fordham E, Economou SG. Bone scanning in pregnant patients with breast carcinoma. *Clinical Nuclear Medicine*. 1987;12: 519-524.
12. Maguire C, Florence S, Powe JE, Zabel PL, Driedger AA, et al. Hepatic uptake of technetium-99m HM-PAO in a fetus. *Journal of Nuclear Medicine*. 1990;31: 237-239.
13. Hsieh TC, Wu YC, Sun SS, Chu LY, Yen KY, Kao CH. FDG PET/CT of a late-term pregnant woman with breast cancer. *Clinical Nuclear Medicine*. 2012;37: 489-491.
14. Dong A, Wang Y, Lu J, Zuo C. Spectrum of the breast lesions with increased 18F-FDG uptake on PET/CT. *Clinical Nuclear Medicine*. 2016;41(7): 543-57.
15. Chamroonrat W, Sritara C, Utamakul C, Kositwattanarerk A, Thamirak K, Anongpornjossakul Y. Unexpectedly expected fetal thyroid function on posttreated radioiodine (131I) SPECT/CT of a patient with differentiated Thyroid cancer. *Clinical Nuclear Medicine*. 2014;39: 1017-1018.
16. Russell JR, Stabin MG, Sparks RB, Watson E. Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals. *Health Physics*. 1997;73(5): 756-69.
17. Bebbington NA, Haddock BT, Bertilsson H, Hippeläinen E, Husby EM, Tunnenin VI, et al. A Nordic survey of CT doses in hybrid PET/CT and SPECT/CT examinations. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Physics*. 2019;6: 24.
18. Vodovatov AV, Chipiga LA, Piven PA, Trufanov GE, Berkovich GV, Mashchenko IA, et al. Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 126-135. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135.
19. Fetaldose.org: Fetal radiation dose assessment. Available from: <https://www.fetaldose.org/calculator.html> [Accessed July 29, 2025].
20. Druzhinina PS, Chipiga LA, Vodovatov AV, Soldatov IV, Lantukh ZA, Tolkachev KV. Determination of the conversion coefficients from the dose-length product to the effective dose for CT-examinations of the whole body including lower extremities. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(4): 126-134. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426X-2024-17-4-126-134.

Received: July 16, 2025

For correspondence: Larisa A. Chipiga – Candidate of Engineering Sciences, Research Fellow, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Research Fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; Docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation (8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Elizaveta K. Milovanova - Student, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0009-0000-8346-2363

Irina A. Zvonova – Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher of Protection Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-4340-8666

Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Daria A. Vazhenina – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher, Head of Laboratory of Theragnostic and Oncology, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-6236-709X

Andrey A. Stanzhevsky – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director for Research, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-1630-0564

For citation: Chipiga L.A., Milovanova E.K., Zvonova I.A., Vodovatov A.V., Vazhenina D.A., Stanzhevsky A.A. Fetus doses from radionuclide diagnostic of pregnant patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 18–28. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-18-28