

## Малый таз | Small pelvis

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1408>

## Показания, ограничения и возможности применения методов лучевой диагностики у беременных женщин

© Павловская Е.А.<sup>1\*</sup>, Багненко С.С.<sup>1,3</sup>, Буровик И.А.<sup>1,2</sup>,  
Бусько Е.А.<sup>1,2</sup>, Тятков С.А.<sup>1</sup>, Гришко П.Ю.<sup>1</sup>, Берлев И.В.<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет” Минздрава России; 199034 Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России; 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Минздрава России; 191015 Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, Российская Федерация

В обзоре представлены современные данные о безопасности различных методов лучевой диагностики. Основное внимание было сфокусировано на особенностях проведения диагностических исследований беременным женщинам как наиболее уязвимой категории пациентов. Проведен поиск научных статей в информационно-аналитических системах PubMed и Google Scholar за 2003–2023 гг. Большой временной интервал обусловлен тем, что информация о долгосрочных эффектах проведенных диагностических процедур могла быть опубликована в течение длительного времени. Использованные ключевые слова включали: MR-safety, pregnancy, safety during pregnancy, gadolinium, iodinated contrast media, cancer in pregnancy, CT, MRI, US, scintigraphy. Список литературы, включавший сочетания ключевых слов, превышал 2000 источников. Было проанализировано более 100 источников, как иностранных, так и зарубежных, преимущественно рекомендаций, основанных на проведенных исследованиях, а также статей с результатами крупных рандомизированных исследований побочных воздействий лучевых методов обследования на беременную женщину и плод, из которых 63 источника были использованы для составления обзора. Критериями отбора статей являлись: для регламентирующих документов – последняя версия, для клинических исследований – адекватная выборка, отчетливые критерии оценки возможных эффектов и наличие группы сравнения; в случае популяционных исследований – большая выборка и длительный период наблюдения. Проанализированы вопросы безопасности и реальных последствий применения ультразвуковой диагностики, магнитно-резонансной томографии, рентгеновских исследований (в том числе компьютерной томографии), изотопных методов (сцинтиграфии и позитронно-эмиссионной томографии). Изучены существующие методические подходы, направленные на снижение потенциального риска. Представленная информация позволит адекватно оценивать риски методов визуализации и поможет уменьшить беспокойство как медицинского персонала, так и пациенток.

**Ключевые слова:** лучевая диагностика; беременные; безопасность; УЗИ; МРТ; КТ; ионизирующее излучение; сцинтиграфия; ПЭТ; тератогенное воздействие

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Павловская Е.А., Багненко С.С., Буровик И.А., Бусько Е.А., Тятков С.А., Гришко П.Ю., Берлев И.В. Показания, ограничения и возможности применения методов лучевой диагностики у беременных женщин. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (2): 95–107. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1408>

**Поступила в редакцию:** 26.09.2023. **Принята к печати:** 23.12.2023. **Опубликована online:** 11.04.2024.



# Medical visualization in pregnancy: indications, limitations and prospects

© Evgenia A. Pavlovskaya<sup>1\*</sup>, Sergey S. Bagnenko<sup>1,3</sup>, Ilya A. Burovik<sup>1,2</sup>, Ekaterina A. Busko<sup>1,2</sup>, Stanislav A. Tiatkov<sup>1</sup>, Pavel Yu. Grishko<sup>1</sup>, Igor V. Berlev<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68, Leningradskaya str., Pesochny, St. Petersburg 197758, Russian Federation

<sup>2</sup> Saint Petersburg University; 7/9, University quay, St. Petersburg 199034, Russian Federation

<sup>3</sup> St. Petersburg State Pediatric Medical University; 2 lit. A, Litovskaya str., St. Petersburg 194100, Russian Federation

<sup>4</sup> I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University; 41, Kirochnaya str., St. Petersburg 191015, Russian Federation

The present paper reports available modern data about the safety of medical visualization, including US, MRI, CT, PET and scintigraphy. In all accessed papers, objects are pregnant women and fetuses – the most vulnerable of all groups of patients. We summarize data concerning exposure to radiodiagnostic procedures during pregnancy and approaches to diminish the potential risk. We analyzed articles published between 2003 and 2023 using PubMed and Google Scholar. Keywords included: MR-safety, pregnancy, CT, MRI, US, scintigraphy. The list of found articles consisted of more the 2000 items. We analyzed more than 100 articles in Russian and English and included 63 items in the current review. Primarily we dealt with clinical guidelines based on randomized trials on the safety of radiological methods during pregnancy. Hopefully, presented information, including the latest international recommendations, will help clinicians and patients pursue realistic and informed approaches and minimize anxiety.

**Keywords:** medical imaging; pregnancy; safety; US; MRI; computer tomography; ionization; scintigraphy; PET; teratogenic effect

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Pavlovskaya E.A., Bagnenko S.S., Burovik I.A., Busko E.A., Tiatkov S.A., Grishko P.U., Berlev I.V. Medical visualization in pregnancy: indications, limitations and prospects. *Medical Visualization*. 2024; 28 (2): 95–107. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1408>

**Received:** 26.09.2023.

**Accepted for publication:** 23.12.2023.

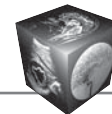
**Published online:** 11.04.2024.

## Актуальность проблемы

С момента открытия рентгеновских лучей безопасность лучевых методов исследования всегда вызвала закономерные опасения. Однако к настоящему времени накоплено достаточно данных, как в результате целенаправленных исследований, так и на основании наблюдений за здоровьем людей, пострадавших в результате ядерных катастроф, дающих хорошее представление о границах безопасных доз ионизирующего излучения для пациентов. При этом в стороне всегда остаются наиболее уязвимые категории – дети и беременные женщины. Общепринятым подходом является всячески оберегать беременных женщин от дополнительных факторов возможного вредного воздействия. Однако в клинической практике достаточно часто встречаются ситуации, требующие постановки точного диагноза и своевременного лечения. К таким ситуациям можно отнести тромбоэмболию легочных артерий, нередкое осложнение беременности, синдром острого живота,

тупую травму живота. Немаловажным является своевременное подтверждение при подозрении на онкологическое заболевание и его стадирование. Кроме того, важной является роль магнитно-резонансной томографии (МРТ) в своевременном выявлении пороков плода, в особенности пороков развития центральной нервной системы, в случаях, когда ультразвукового исследования (УЗИ) может быть недостаточно [1].

Онкологическая патология, ассоциированная с беременностью, – возникающая в течение беременности или в первый год после нее, встречается нередко. Так, по данным руководства, опубликованного по результатам Третьего международного консенсуса по вопросам онкологии при беременности, частота этих состояний оценивается как 70–140 случаев на 100 000 беременностей. Непосредственно во время беременности онкологические заболевания выявляются в 17–25 случаях на 100 000 [2]. Наиболее частыми гистотипами являются меланома, рак молочной железы



и рак шейки матки [3]. За последние 20 лет изменилась тактика ведения беременных с онкологическими заболеваниями с тенденцией к максимальному пролонгированию беременности и проведению химиотерапии без ее прерывания, что делает точную диагностику и стадирование критически важными [4].

В таких случаях принято руководствоваться универсальным принципом “применение метода диагностики возможно, если польза от вмешательства превышает вред”. Современные представления о последствиях применения методов лучевой диагностики необходимы врачу не только для выбора оптимального, максимально информативного и при этом наиболее безопасного метода медицинской визуализации, но и для реалистичного информирования пациентки и снижения ее тревожности.

Методы лучевой диагностики развиваются с большой скоростью, появляются все новые возможности для определения диагноза, в то же время накапливаются данные об отсроченных эффектах исследования или их отсутствии, что делает актуальным научный поиск в этой области.

### Ультразвуковая диагностика

Ультразвуковая диагностика – общепринятый стандарт безопасного обследования беременных женщин, применяемый как в рамках скрининга патологии плода и беременности, так и в случае возникновения сопутствующей патологии, в том числе онкологической (рис. 1).

Безопасность применения этого метода не вызывает сомнений [5, 6]. В то же время в связи



**Рис. 1.** Ультразвуковое исследование. Пациентка Н., 28 лет, беременность 20 нед. Плановое обследование.

**Fig. 1.** US. Patient N. 28 y.o. 20 weeks of gestation. Screening.

с опасениями относительно воздействия и депонирования высоких энергий при доплерометрии с возможным нагревом тканей плода и механическим воздействием (кавитацией) были введены стандарты мощности выводного сигнала ультразвукового датчика, которых придерживаются производители аппаратуры [7]. В настоящее время именно ультразвуковая диагностика является первым методом обследования беременных женщин при наличии сопутствующей патологии молочных желез, органов брюшной полости, а также сосудов.

Новые возможности в ультразвуковой диагностике появились с применением контрастирования. Препарат для ультразвукового контрастирования представляет собой микропузырьки газа (например, гексофторида серы), окруженные слоем фосфолипидов. Эти пузырьки не проникают в ткани и контрастируют сосуды самого мелкого калибра. Приблизительно через 15–20 мин пузырьки разрушаются и газ выходит с выдыхаемым воздухом, а липидная оболочка утилизируется в печени. Были проведены крупные исследования побочных эффектов этих препаратов, продемонстрировавшие крайне редкие осложнения. В частности, при введении 78 000 доз гексафторида серы наблюдалось только 8 случаев тяжелых реакций (из них только 4 анафилактические), смертельных исходов не было [8]. По данным других авторов, отмечалось 29 случаев побочных явлений (из 23 188 обследованных человек), только два из которых классифицировались как тяжелые [9]. Кроме того, по результатам небольших выборок обследованных с помощью контрастного УЗИ беременных женщин данных о вреде плоду получено не было, однако ввиду отсутствия достаточного количества информации и опыта EFSUMB (Европейская федерация ассоциаций по ультразвуку в медицине и биологии) пока не рекомендует контрастирование при УЗИ у беременных женщин [10, 11].

### Безопасность магнитно-резонансной томографии

В настоящее время применение МРТ на сканерах с напряженностью магнитного поля 1,5 и 3 Тл в период беременности считается безопасным, в особенности во II и III триместрах [11] (рис. 2).

Ранее высказывались опасения о проведении МРТ в I триместре беременности, связанные с нагреванием чувствительных тканей в радиочастотном поле, а также возможным повреждением слухового аппарата плода из-за громких звуков [11, 12], в дальнейшем одна из этих работ была отозвана. Эти опасения инициировали целый ряд



**Рис. 2.** МРТ. Пациентка А., 33 года, беременность 19–20 нед. Рак шейки матки T1b3N0. T2ВИ в сагиттальной плоскости. Тонкой стрелкой обозначена опухоль, широкой стрелкой – плод.

**Fig. 2.** MRI. Patient A. 33 years. 19–20 of gestation, cancer of colli uteri T1b3N0. T2WI in sagittal plane. Tumor is marked with an thin arrow, wide arrow – fetus.

научных исследований [13, 14], наиболее крупное из которых было проведено в Канаде и опубликовано в 2016 г. [15]. Научная работа проводилась на большой выборке архивных данных провинции Онтарио за период 2003–2015 гг. В этом популяционном когортном исследовании были проанализирована информация по всем родам на сроке более 20 нед беременности ( $n = 1\,424\,105$ ). Полученные данные легли в основу последнего (2017 г.) пересмотра рекомендаций Американского колледжа акушеров и гинекологов (ACOG) по лучевой диагностике во время беременности и лактации. В работе J.G. Ray и соавт. [15] оценивались такие параметры, как риск проведения МРТ в I триместре беременности и применение контрастирования препаратами гадолиния на любом сроке беременности. Оценка влияния указанных факторов проводилась по данным о здоровье детей от рождения до 4-летнего возраста. При сравнении исходов беременности у группы женщин, проходивших МРТ-исследование в I триместре беременности (1,737), и контрольной группы женщин, которым не выполнялось МРТ ( $n = 1,418,451$ ),

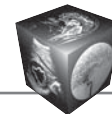
определялся низкий относительный риск мертворождений (RR 1,68; 95% CI 0,97–2,90). Различий по частоте врожденных аномалий, новообразований или потери зрения или слуха выявлено не было [15].

Относительно нагрева тканей сохраняются прежние рекомендации FDA (Food and Drug association) и Международной электротехнической комиссии (IEC) о необходимости учета поглощенной энергии при МР-сканировании. Удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии (specific absorption rate – SAR) – это показатель, определяющий энергию электромагнитного поля, поглощаемую тканями тела человека за одну секунду. При превышении этого показателя более 4 ватт на килограмм (Вт/кг) в течение 30 мин происходит нагревание тканей на 0,6 °C. При этом следует иметь в виду, что в экспериментах на животных негативное воздействие на плод было продемонстрировано при нагревании тела беременного животного не менее чем на 2–2,5° (на протяжении более 30–60 мин). Следует также иметь в виду тот факт, что нагрев более глубоко расположенных тканей происходит в меньшей степени, чем поверхностных. Однако в качестве перестраховки Международная электротехническая комиссия рекомендует установить максимальный SAR для сканирования беременных на уровне 2 Вт/кг [16]. При выборе между сканером с напряженностью магнитного поля 1,5 и 3 Тл следует помнить, что с увеличением напряженности магнитного поля вдвое SAR увеличивается вчетверо при одних и тех же настройках импульсных последовательностей [17]. К факторам, повышающим SAR при сканировании, относятся: высокие показатели угла отклонения (flip angle), повышение мощности радиочастотных импульсов, уменьшение толщины среза и снижение времени повторения (TR) [17, 18]. Таким образом, при соблюдении параметров сканирования в границах SAR до 4 Вт/кг (оптимально до 2 Вт/кг) можно не опасаться нанести вред плоду.

### Контрастный препарат на основе гадолиния

В небольшом проценте случаев при проведении МРТ-сканирования у беременных женщин есть необходимость введения контрастного препарата для получения дополнительной информации. Препараты на основе гадолиния хорошо переносятся: частота анафилактических аллергических реакций на них не превышает 0,01% [19–21]. Наименее аллергенными являются неионные линейные контрастные препараты (например, гадолиамид) [22, 23].





Гадолинийсодержащие контрастные препараты одобрены к использованию при МРТ еще в 1988 г. и за десятилетия их применения накопилось достаточно данных об их побочных эффектах. В частности, в 2006 г. была описана связь между развитием нефрогенного системного фиброза и введением гадолиния (преимущественно у лиц с выраженным нарушением функции почек) [24]. Кроме того, вызывают беспокойство новые данные о накоплении гадолиния в зубчатых ядрах мозжечка. Несмотря на то что по данным проведенных наблюдений клинических проявлений этого явления отмечено не было, эта проблема нуждается в дальнейшем изучении [25].

В настоящее время не выявлено побочных эффектов стандартных доз контрастных препаратов на основе гадолиния на плод человека [26]. В единичном когортном исследовании, включавшем 26 женщин, которым вводили гадолиний в I триместре беременности, было продемонстрировано отсутствие его тератогенного и мутагенного воздействия на плод [27]. В ретроспективном когортном исследовании риск врожденной аномалии не зависел от того, применялся ли контрастный препарат на основе гадолиния во время беременности (по сравнению с беременными, которым не выполняли МРТ) [15].

Не описано ни одного случая нефрогенного системного склероза, связанного с применением контрастного вещества на основе гадолиния у беременных [11]. Однако следует помнить, что хотя хелаты гадолиния инертны, они могут проникать через плацентарный барьер и накапливаться в амниотической жидкости, а следовательно, есть потенциальный риск диссоциации свободного иона гадолиния и развития системного фиброза у ребенка и матери [26].

Контрастные препараты различаются по степени риска развития нефрогенного системного склероза, что зависит от стабильности молекулы. Наиболее стабильными являются макроциклические препараты [28] (табл. 1).

По данным наиболее крупного исследования, проведенного в Канаде, была выявлена связь между применением контрастного препарата на основе гадолиния на любом сроке беременности и повышенным риском ревматологических заболеваний кожи, а также воспалительных и инфильтративных дерматозов у детей.

Так, в группе детей, получавших гадолиний пренатально ( $n = 397$ ), было выявлено 123 случая воспалительных дерматозов в возрасте до 4 лет против 384 180 детей в контрольной группе ( $n = 1\,418\,451$ ) – относительный риск составил 1,36

**Таблица 1.** Стратификация риска нефрогенного системного фиброза в зависимости от строения молекул препаратов гадолиния (адаптировано из руководства ESUR по контрастным препаратам [28])

**Table 1.** Risk of nephrogenic systemic sclerosis (NSF) stratification, depending on Gadolinium media molecular structure (adapted from ESUR guideline on contrast media [28])

|                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Высокий риск<br>Линейные<br>(ионные и неионные)<br>High risk of nephrogenic<br>systemic sclerosis (NSF)<br>Linear (ionic and non-ionic) | Gadodiamide Омнискан (неионный)<br>Gadodiamide Omniscan (non-ionic)<br>Gadopentetate dimeglumine Магневист (ионный)<br>Gadopentetate dimeglumine Magnevist (ionic)<br>Gadoversetamide Оптимарк (неионный)<br>Gadoversetamide Optimark (non-ionic) | Противопоказаны беременным,<br>при грудном вскармливании<br>рекомендуется сцеживание<br>грудного молока в течение 24 ч<br>Contraindicated in pregnancy.<br>Breastfeeding should be postponed<br>for 24 hours |
| Промежуточный риск<br>(ионные линейные)<br>Intermediate risk of NSF<br>Ionic linear                                                     | Gadobenate dimeglumine Мультихэнс<br>Gadobenate dimeglumine Multihance<br>Gadofosveset trisodium (Vasovist, Ablavar)<br>Gadofosveset trisodium (Vasovist, Ablavar)<br>Gadoxetate disodium Примовист<br>Gadoxetate disodium Primovist              | С осторожностью в малых дозах<br>When is essential, can be used<br>in small dose                                                                                                                             |
| Низкий риск<br>ионные и неионные<br>макроциклические<br>препараты<br>Low risk of NSF<br>Ionic and non-ionic cyclic                      | Gadobutrol Гадовист неионный<br>Gadobutrol Gadovist (nonionic)<br>Gadoterate meglumine Дотарем ионный<br>Gadoterate meglumine Dotarem (ionic)<br>Gadoteridol Прохэнс неионный<br>Gadoteridol Prohance (nonionic)                                  | Разрешено для применения<br>у беременных, грудное<br>вскармливание можно<br>не прерывать<br>Can be used in pregnant<br>and lactating women                                                                   |



(95% CI 1,09–1,69). При дальнейшем анализе данная связь была определена для беременных, получивших гадолиний только в I триместре. Антенатальная и неонатальная гибель наблюдалась в 7 случаях, когда вводился контрастный препарат (RR 3,70; 95% CI 1,55–8,85) [15].

В настоящее время проводятся разработка и внедрение в практику новых препаратов гадолиния с липосомной оболочкой, не позволяющей препарату проникать через плацентарный барьер [29, 30]. Кроме того, уже разработаны и применяются контрастные препараты на основе марганца и оксида железа, однако в Российской Федерации они пока не зарегистрированы к применению [31].

### Рентгенография и компьютерная томография

Ионизирующее излучение, в том числе рентгеновского спектра, характеризуется умеренной проникающей способностью и может ионизиро-

вать ткани, изменяя их нормальную структуру и вызывая два типа эффектов: детерминированный и стохастический [32].

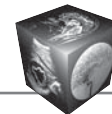
Детерминированный эффект проявляется в нарушении функции тканей и органов и существуют тканеспецифические пороговые значения доз, при которых происходят эти повреждения. Пороги доз, ассоциированные со специфическими пороками развития и повреждениями, зависят от сроков гестации (табл. 2) [32].

Как следует из табл. 2, при поглощении плодом дозы менее 50 мЗв потенциальных детерминированных эффектов не выявлено. При подавляющем большинстве рутинных диагностических исследований поглощенная доза не превышает 20 мЗв, в случае проведения компьютерной томографии брюшной полости и малого таза – до 35 мЗв, т.е. данные исследования не вызывают повреждения тканей плода, в особенности в случае фракционированного (разнесенного по времени) облучения [32] (рис. 3).

**Таблица 2.** Эффект ионизирующего облучения в зависимости от срока гестации (адаптировано из практических рекомендаций [32] на основе данных Международной комиссии радиационной защиты, опубликованных в 2003 г. [33])

**Table 2.** Effects of radiation exposure on prenatal development depending on week of gestation (adapted from practical recommendations [32] based on International Commission on Radiological Protection report [33])

| Срок гестации<br>Gestation period                                                          | Время<br>после зачатия<br>Time<br>after conception | Доза<br>Dose                                             | Потенциальный эффект<br>Potential effect                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| До имплантации<br>Before implantation<br>(conception)                                      | 0–2 нед<br>0–2 weeks                               | 50–100 мЗв<br>50–100 mGy                                 | Пренатальная гибель<br>Prenatal death                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Основной<br>органогенез<br>Main organogenesis                                              | 1–8 нед<br>1–8 weeks<br>2–15 нед<br>2–15 weeks     | 200–250 мЗв<br>200–250 mGy<br>200–250 мЗв<br>200–250 mGy | Задержка роста<br>Growth retardation<br>Микроцефалия<br>Microcephaly<br>На сроке до 8 нед – не вызывает дефицита<br>умственного развития<br>No mental retardation when applied before 8 weeks<br>Наиболее чувствительный период для развития<br>детской онкопатологии<br>Most sensitive period for pediatric oncology |
| Деление и миграция<br>нейронов<br>Neuron development<br>and migration                      | 6–15 нед<br>6–15 weeks                             | >100 мЗв<br>>100 mGy                                     | Микроцефалия / Microcephaly<br>Судорожный синдром / Seizures<br>Снижение IQ (на 25 баллов на каждые 1000 мЗв)<br>IQ decreased by 25 units on each 1000 mGy applied                                                                                                                                                    |
| После органогенеза<br>и быстрого развития<br>нейронов<br>After rapid neuron<br>development | 15 нед и до родов<br>15 weeks till labor           | >100 мЗв<br>>100 mGy<br>>500 мЗв<br>>500 mGy             | Повышение частоты возникновения детской<br>онкопатологии<br>Increased frequency of pediatric oncology<br>Тяжелая задержка умственного развития (16–25 нед)<br>Severe mental retardation (16–25 weeks)                                                                                                                 |



**Рис. 3.** КТ. Пациентка Ч., 29 лет, беременность 34 нед. Первичная медиастинальная В-клеточная лимфома.

**Fig. 3.** СТ. Patient Ch., 29 y.o., 34 weeks of gestation. Primary mediastinal large B cell lymphoma.

Стохастический (вероятностный) эффект – это беспороговый эффект, который возникает в виде случайной мутации ДНК одной клетки, вероятность которой пропорциональна поглощенной дозе, с последующим канцерогенезом и представляет собой долгосрочное последствие, оценка которого в рамках клинических исследований невозможна. Стохастический эффект может возникнуть при любой, в том числе крайне малой дозе, такой, как фоновое излучение Земли (в зависимости от местоположения и высоты над уровнем моря – до 2,3 мЗв) [7]. Относительный риск развития детской онкопатологии выше на ранних сроках беременности и составляет 3,19 для I триместра, 1,29 для II и 1,30 для III [7]. Таким образом, стохастические эффекты следует учитывать при определении соотношения риска и пользы планируемого исследования, но опираться следует на данные по детерминированным (краткосрочным и дозозависимым) эффектам [33].

Основным нормативным документом в России, регламентирующим медицинское облучение, являются Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009. Базовый подход к применению медицинского облучения описан в пятом разделе этого документа: “Радиационная защита пациен-

тов при медицинском облучении должна быть основана на необходимости получения полезной диагностической информации и/или терапевтического эффекта от соответствующих медицинских процедур при наименьших возможных уровнях облучения. Проведение медицинских процедур, связанных с облучением пациентов, должно быть обосновано путем сопоставления диагностических или терапевтических выгод, которые они приносят, с радиационным ущербом для здоровья, который может причинить облучение, принимая во внимание имеющиеся альтернативные методы, не связанные с медицинским облучением” [34].

Более подробно проблема обеспечения радиационной безопасности как эмбриона/плода, так и самой беременной женщины рассмотрена в международных рекомендациях [35, 36]. В частности, в фундаментальной Публикации 103 МКРЗ [36] указывается, что пренатальные дозы при диагностических процедурах с использованием источников ионизирующего излучения не создают достоверного увеличения риска пренатальной или постнатальной гибели, порока развития или мальформаций либо задержки умственного развития выше фоновых значений для указанных нарушений. Пожизненный риск развития онкологического заболевания после внутриутробного облучения, как считается в настоящее время, равен риску, возникающему после облучения в раннем детстве [37].

По данным большинства авторов, с целью максимального снижения поглощенной дозы при компьютерной томографии (КТ), в случае, когда плод находится в поле обзора, следует руководствоваться принципом ALARA (as low as reasonably achievable – насколько разумно низкая доза). Это может достигаться изменением параметров сканирования: уменьшением мощности рентгеновского излучения (по массе тела пациентки), снижением времени экспозиции, уменьшением длины скаута, увеличением питча и сокращением количества серий сканирования до одной.

К распространенным дополнительным технологиям, позволяющим снизить дозу, относятся автоматический контроль экспозиции (уменьшает дозу на 40–50%), автоматический выбор мощности рентгеновской трубки (на 33–65%) и повторные реконструкции (уменьшает дозу на 40–50%). При использовании этих мер возможно снизить лучевую нагрузку на плод. Так, например, при сканировании таза – приблизительно с 35 до 13 мЗв [7, 38]. Такие меры, как использование свинцового фартука на живот при КТ-ангиографии грудной клетки женщины (при подозрении на тромбоэмболию), обеспечивают в большей степени психоло-



гический комфорт пациентки, так как в основном облучение плода в этом случае происходит за счет отраженных лучей. Реальным способом снизить поглощенную плодом дозу в этом случае является применение суспензии бария (30% и выше) *per os*, при этом важно отслеживать коллимацию изображений, так как автоматические программы могут увеличивать дозу, включая в поле обзора барий в желудке [39].

### **Йодсодержащие контрастные препараты**

Йодсодержащие препараты применяются для контрастирования прежде всего при проведении КТ. Эти препараты разделяют в зависимости от осмолярности, способности к ионизации и количеству бензольных колец. Ионные препараты имеют очень высокую осмолярность (в 5–7 раз выше сыворотки крови), неионные – только в 2–3 раза, что обуславливает их биологические эффекты [11]. Группа неионных мономеров занимает особое место среди современных рентгеноконтрастных средств. Низкая осмолярность и вязкость, электрическая нейтральность и наибольшее содержание йода этих препаратов обеспечивают наилучшую диагностическую эффективность при минимальном риске побочных реакций [40].

Данные контрастные препараты являются водорастворимыми, а значит, проникают через плаценту и могут попасть в кровоток плода и амниотическую жидкость [41]. Однако по данным исследований на животных йодсодержащие контрастные препараты не имеют тератогенного или мутагенного эффекта. Также не выявлено влияния неионных йодсодержащих контрастных препаратов, например йопамидола и йопромида, на щитовидную железу плода [42, 43], тогда как ионные препараты могут вызывать дисфункцию органа. Европейское общество урогенитальной радиологии (ESUR) рекомендует оценивать уровень гормонов щитовидной железы новорожденного на первой неделе жизни в случае, когда в анамнезе есть указание на применение йодсодержащих контрастных препаратов во время беременности [41]. Возможно, это обусловлено тем, что не всегда известен конкретный вводившийся препарат.

Кроме того, имеются данные о влиянии жирорастворимых препаратов, например при проведении гистеросальпингографии для планирования беременности и риском дисфункции щитовидной железы (относительный риск 2,4% против 0,7%). В настоящее время рекомендуют заменить гистеросальпингографию на гистероскопию с хромо-сальпингоскопией как более информативную и безопасную [44].

Все авторы сходятся в том, что, несмотря на отсутствие данных о негативном влиянии йодсодержащих контрастных препаратов, их применение у беременных рекомендовано только в крайних случаях.

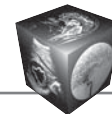
Применительно к грудному вскармливанию полное выведение препарата из организма женщины происходит через 24 ч, а уже через 2 ч его концентрация падает вдвое. Так как препарат водорастворим, в грудное молоко экскретируется около 1% его плазменной концентрации, из этого количества менее 1% попадает в желудочно-кишечный тракт ребенка [45]. Следовательно, средняя доза, полученная ребенком с грудным молоком, составляет примерно 0,05% от рекомендованной дозы для диагностических исследований грудных детей [46]. Таким образом, применение йодсодержащих препаратов совместимо с грудным вскармливанием, тем не менее можно предложить пациентке заменить кормление сцеженным молоком или смесью в течение 12–24 ч.

### **Радионуклидные методы: позитронно-эмиссионная томография и сцинтиграфия**

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) доказала свою высокую информативность как при диагностике первичных опухолей, так и при выявлении рецидивов. Однако применимость данного метода при беременности вызывает большие опасения. Данных по этой проблеме крайне мало: в последнем обзоре, опубликованном в 2022 г. группой итальянских авторов, были проанализированы результаты 4 исследований на небольших выборках беременных женщин и 25 клинических случаев за период с 2004 по 2021 г. [3]. Наиболее крупное ретроспективное исследование, проведенное во Франции на основе анализа выборки CALG (Cancer Associé à La Grossesse – база данных беременных с онкологией), для оценки последствий применения ПЭТ продемонстрировало достаточно большую частоту онкологических заболеваний, выявляемых во время беременности. За 5 лет было выявлено 359 случаев, в 63 случаях применялась ПЭТ. При этом оценка здоровья 46 детей, рожденных от матерей, которым выполнялась ПЭТ/КТ во время беременности, проведенные в возрасте 6, 12, 15 и 24 мес, не показала признаков задержки умственного развития, мальформаций или случаев детской онкологической патологии [47].

Известно, что 18-фтордезоксиглюкоза (ФДГ) проникает через плацентарный барьер и накапливается в тканях плода, при этом максимальное накопление радиофармпрепарата наблюдается в его миокарде. Таким образом, учет поглощенной





плодом дозы крайне важен для правильной оценки соотношения вред/польза [48, 49]. В настоящее время проводятся исследования на лабораторных животных, целью которых является разработка модели расчета дозы, получаемой плодом.

I триместр беременности характеризуется быстрым ростом и пролиферацией, что сопровождается более активным захватом глюкозы, соответственно большей поглощенной дозой. Так, по данным одного из исследований по оценке поглощенной плодом дозы при ПЭТ/МРТ с 18-ФДГ при проведении исследования в конце I триместра беременности поглощенная плодом доза была рассчитана как  $7,38 \pm 0,25E-02$  мГр/МБк, тогда как у пациенток во II триместре беременности это значение составило  $4,92 \pm 1,52E-03$  мГр/МБк [50]. В связи с этим во II и III триместрах допустимы более высокие дозы, чем в I, при этом поглощенная плодом доза остается ниже порогового значения для проявления детерминированных эффектов [50]. Для снижения поглощенной дозы рекомендуется использовать совмещенные с МРТ (а не с КТ) сканеры, применять гидратацию пациентки до и во время исследования, а также катетеризировать мочевой пузырь, чтобы предотвратить длительное расположение радиофармпрепарата в непосредственной близости от плода [2].

Грудное вскармливание не рекомендовано в течение 24 ч после проведения ПЭТ-исследования [46].

Отдельного внимания заслуживает такой информативный метод радионуклидной диагностики, как сцинтиграфия сигнальных лимфатических узлов при раке молочных желез, одного из наиболее частых онкологических заболеваний во время беременности. Проведен ряд небольших исследований, которые показали, что применение изотропа технеция является относительно безопасным во время беременности [37, 51, 52]. Следует также иметь в виду, что в данном случае радиофармпрепарат вводится не внутривенно, а периферически, то есть лучевая нагрузка на плод будет ниже. Эти результаты подтверждают безопасность технологии биопсии сигнальных лимфатических узлов во время беременности, что позволяет планировать органосохраняющие операции при раке молочной железы у беременных женщин.

Большинство диагностических процедур ядерной медицины выполняется с короткоживущими радионуклидами (такими как  $^{99m}\text{Tc}$ ), которые не обуславливают больших доз облучения плода. Для радиофармпрепаратов, которые не проходят через плаценту, доза для плода определяется радиоактивностью материнских тканей. Некоторые радиофармпрепараты (радиоизотопы йода  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$

и особенно  $^{131}\text{I}$ ) проникают через плаценту и концентрируются в конкретном органе или ткани, вследствие чего они могут представлять значительный риск возникновения радиационно-индуцированных нарушений у плода [37].

## Заключение

Таким образом, за последние 20 лет проведено достаточно исследований, демонстрирующих реальные последствия применения лучевых методов диагностики при беременности. Анализ этих данных позволяет изменить подходы к диагностике и стадированию онкологических заболеваний, своевременному выявлению угрожающих жизни матери и плода состояний.

УЗИ остается ведущим методом диагностики первой линии и во многих случаях является достаточным для постановки диагноза. Применение контрастных препаратов при УЗИ пока не рекомендовано, но не вызывает сомнений, что в ближайшее время и этот метод найдет свое место в алгоритме обследования беременных женщин.

МРТ сопряжена с техническими трудностями (длительное вынужденное положение, клаустрофобия, шум), однако продемонстрировала свою высокую эффективность в оценке патологии плода, таких угрожающих жизни состояний, как вращение плаценты, ее отслойка. Кроме того, высокий тканевый контраст в условиях измененной анатомии позволяет с высокой точностью диагностировать острую патологию брюшной полости (аппендицит, холецистит, холедохолитиаз) и новообразования. Исключительным является этот метод для выявления внутричерепной патологии (нарушение кровоснабжения, опухоли, очаговые процессы в веществе мозга). В настоящее время МРТ не противопоказана на любом сроке беременности при ограничении SAR до 4 Вт/кг (оптимально до 2 Вт/кг). От введения контрастного препарата на основе гадолиния пока рекомендуется воздерживаться ввиду спорных данных о его возможном вреде.

КТ, а также рентгенография в настоящее время рекомендуются к применению в случаях, когда данных УЗИ и МРТ недостаточно, а однократная доза лучевой нагрузки не превышает 50 мЗв. Следует вести точный учет поглощенных доз в случае повторных исследований. Неионные низкомолекулярные мономерные йодсодержащие контрастные препараты продемонстрировали свою безопасность, в том числе для функции щитовидной железы плода. КТ-ангиография является основным методом диагностики такого угрожающего состояния, как тромбоэмболия легочных артерий. В алгоритме диагностики этого состояния у бере-



менных по международным рекомендациям КТ-ангиография следует сразу после УЗИ сосудов нижних конечностей и определения лабораторных показателей.

Применение ПЭТ не противопоказано во время беременности в тех случаях, когда данных МРТ и КТ недостаточно. Рекомендуются мультидисциплинарный подход с четким индивидуальным расчетом доз, гидратацией пациентки и применением катетеризации мочевого пузыря в процессе сканирования для снижения лучевой нагрузки. Существуют работы, демонстрирующие возможность замены ПЭТ диффузионно-взвешенными изображениями при МРТ в режиме “все тело”. Так, результаты одного пилотного исследования показали высокую чувствительность метода (сравнимую с ПЭТ) для выявления первичных образований и отдаленных метастазов (в том числе в кости) как солидных образований, так и лимфом [53]. Методы сцинтиграфии с меченым технецием допустимы при беременности, в то время как изотопы йода проникают через плаценту и могут негативно повлиять на плод. Метод биопсии сигнальных лимфатических узлов при раке молочных желез во время беременности позволяет произвести своевременную диагностику и органосохраняющее хирургическое вмешательство.

Развитие лучевой диагностики, в том числе появление гибридных методов, новых принципов контрастирования, ведет за собой и новые опасения по поводу безопасности их применения. Данный обзор ставил своей задачей демонстрацию безопасности и реальных последствий применения методов лучевой диагностики у беременных женщин. Представленные сведения можно использовать для принятия сложных решений и определения диагностических алгоритмов в каждом конкретном случае для любых групп пациентов, в том числе для консультирования пациентов с повышенной тревожностью и предубеждениями относительно лучевых методов обследования.

#### Участие авторов

Павловская Е.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, обзор публикаций по теме, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Багненко С.С. – подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Буровик И.А. – подготовка и редактирование текста, подготовка опубликованной работы.

Бусько Е.А. – подготовка и редактирование текста.

Тятков С.А. – участие в научном дизайне.

Гришко П.Ю. – участие в научном дизайне.

Берлев И.В. – участие в научном дизайне.

#### Authors' participation

Pavlovskaya E.A. – concept and design of the study, conducting research, review of publications, writing, preparation and creation of the published work.

Bagненко S.S. – text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Burovick I.A. – text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Busko E.A. – text preparation and editing.

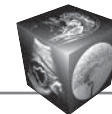
Tiatkov S.A. – participation in scientific design.

Grishko P.U. – participation in scientific design.

Berlev I.V. – participation in scientific design.

#### Список литературы [References]

1. Трофимова Т.Н., Халиков А.Д., Семенова М.Д. Возможности магнитно-резонансной томографии в изучении формирования головного мозга плода. *Лучевая диагностика и терапия*. 2017; 4 (8): 6–16. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2017-4-6-15>  
Trofimova T.N., Halikov A.D., Semenova M.D. The capabilities of MRI in studying formation of the fetal brain. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2017; 4 (8): 6–16. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2017-4-6-15> (In Russian)
2. Amant F., Berveiller P., Boere I.A. et al. Gynecologic cancers in pregnancy: guidelines based on a third international consensus meeting. *Ann. Oncol.* 2019; 30 (10): 1601–1612. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdz228>
3. Parpinel G., Laudani M.E., Giunta F.P. et al. Use of positron emission tomography for pregnancy-associated cancer assessment: a review. *J. Clin. Med.* 2022; 11 (13): 1–11. <https://doi.org/10.3390/jcm11133820>
4. de Haan J., Verheeecke M., Van Calsteren K. et al. Oncological management and obstetric and neonatal outcomes for women diagnosed with cancer during pregnancy: a 20-year international cohort study of 1170 patients. *Lancet Oncol.* 2018; 19 (3): 337–346. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(18\)30059-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(18)30059-7)
5. Abramowicz J.S., Kremkau F.W., Merz E. Obstetrical ultrasound: can the fetus hear the wave and feel the heat? *Ultrasound Med.* 2012; 33 (3): 215–217. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1312759>
6. Aiken C.E., Lees C.C. Long-term effects of in utero Doppler ultrasound scanning—a developmental programming perspective. *Med. Hypotheses*. 2012; 78 (4): 539–541. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2012.01.030>
7. Tirada N., Dreizin D., Khatri N.J. et al. Imaging pregnant and lactating patients. *RadioGraphics*. 2015; 35 (6): 1751–1765. <https://doi.org/10.1148/rg.2015150031>
8. Wei K., Mulvagh S.L., Carson L. et al. The safety of definity and optison for ultrasound image enhancement: a retrospective analysis of 78,383 administered contrast doses. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21 (11): 1202–1206. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2008.07.019>
9. Piscaglia F., Bolondi L., Italian Society for Ultrasound in Medicine and Biology (SIUMB) study group on ultrasound contrast agents. The safety of Sonovue in abdominal applications: retrospective analysis of 23188 investigations. *Ultrasound Med. Biol.* 2006; 32 (9): 1369–1375. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2006.05.031>
10. Sidhu P.S., Cantisani V., Dietrich C.F. et al. The EFSUMB guidelines and recommendations for the clinical practice

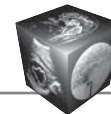


- of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in non-hepatic applications: update 2017 (Long Version). *Ultraschall Med.* 2018;39(2):e2–e44. <https://doi.org/10.1055/a-0586-1107>
11. Perelli F., Turrini I., Giorgi M.G. et al. Contrast agents during pregnancy: pros and cons when really needed. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022; 19 (24): 16699. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416699>
  12. Kanal E., Barkovich A.J., Bell C. et al.; ACR Blue Ribbon Panel on MR Safety. ACR guidance document for safe MR practices: 2007. *Am. J. Roentgenol.* 2007; 188 (6): 1447–1474. <https://doi.org/10.2214/AJR.06.1616>
  13. Hartwig V., Giovannetti G., Vanello N. et al. Biological effects and safety in magnetic resonance imaging: a review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2009; 6 (6): 1778–1798. <https://doi.org/10.3390/ijerph6061778>
  14. Chartier A.L., Bouvier M.J., McPherson D.R. et al. The safety of maternal and fetal MRI at 3T. *Am. J. Roentgenol.* 2019; 213 (5): 1170–1173. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.21400>
  15. Ray J.G., Vermeulen M.J., Bharatha A. et al. Association between MRI exposure during pregnancy and fetal and childhood outcomes. *JAMA.* 2016; 316 (9): 952–961. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.12126>
  16. Gomes M., Matias A., Macedo F. Risks to the fetus from diagnostic imaging during pregnancy: review and proposal of a clinical protocol. *Pediatr. Radiol.* 2015; 45 (13): 1916–1929. <https://doi.org/10.1007/s00247-015-3403-z>
  17. Mervak B.M., Altun E., McGinty K.A. et al. MRI in pregnancy: Indications and practical considerations. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2019; 49 (3): 621–631. <https://doi.org/10.1002/jmri.26317>
  18. Синицын В.Е. Безопасность магнитно-резонансной томографии – современное состояние вопроса. *Диагностическая и интервенционная радиология.* 2010. 4 (3): 61–66. <https://doi.org/10.25512/DIR.2010.04.3.10>  
Sinitcin V.E. MRI safety – current state of the issue. *Diagnostic and Interventional Radiology.* 2010; 4 (3): 61–66. <https://doi.org/10.25512/DIR.2010.04.3.10> (In Russian)
  19. Behzadi A.H., Zhao Y., Farooq Z., Prince M.R. Immediate allergic reactions to gadolinium-based contrast agents: a systematic review and meta-analysis. *Radiology.* 2018; 286 (2): 471–482. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017162740>
  20. Fraum T.J., Ludwig D.R., Bashir M.R., Fowler K.J. Gadolinium-based contrast agents: a comprehensive risk assessment. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2017; 46 (2): 338–353. <https://doi.org/10.1002/jmri.25625>
  21. Cheong B.Y.C., Wilson J.M., Preventza O.A., Muthupillai R. Gadolinium-based contrast agents: updates and answers to typical questions regarding gadolinium use. *Tex. Heart Inst. J.* 2022; 49 (3): e217680. <https://doi.org/10.14503/THIJ-21-7680>
  22. Potts J., Lisonkova S., Murphy D.T., Lim K. Gadolinium magnetic resonance imaging during pregnancy associated with adverse neonatal and post-neonatal outcomes. *J. Pediatr.* 2017; 180: 291–294. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.10.061>
  23. Costello J.R., Kalb B., Martin D.R. Incidence and risk factors for gadolinium-based contrast agent immediate reactions. *Top. Magn. Reson. Imaging.* 2016; 25 (6): 257–263. <https://doi.org/10.1097/RMR.000000000000109>
  24. Cowper S.E., Boyer P.J. Nephrogenic systemic fibrosis: An update. *Curr. Rheumatol. Rep.* 2006; 8 (2): 151–157. <https://doi.org/10.1007/s11926-006-0056-9>
  25. Kanal E., Tweedle M.F. Residual or retained gadolinium: practical implications for radiologists and our patients. *Radiology.* 2015; 275 (3): 630–634. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015150805>
  26. Kodzwa R. ACR manual on contrast media: 2018 updates. *Radiol. Technol.* 2019; 91 (1): 97–100.
  27. De Santis M., Straface G., Cavaliere A.F. et al. Gadolinium periconceptional exposure: pregnancy and neonatal outcome. *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* 2007; 86 (1): 99–101. <https://doi.org/10.1080/00016340600804639>
  28. Thomsen H.S. ESUR guidelines on contrast agents version 10.0. Contrast Media Safety Committee, 2018; 44 p.
  29. Gatta G., Di Grezia G., Cuccurullo V. et al. MRI in pregnancy and precision medicine: a review from literature. *J. Pers. Med.* 2021; 12 (1): 1–16. <https://doi.org/10.3390/jpm12010009>
  30. Ghaghada K.B., Starosolski Z.A., Bhayana S. et al. Pre-clinical evaluation of a nanoparticle-based blood-pool contrast agent for MR imaging of the placenta. *Placenta.* 2017; 57: 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2017.06.008>
  31. Семенова Е.С., Машенко И.А., Труфанов Г.Е. Магнитно-резонансная томография при беременности: актуальные вопросы безопасности. *Российский Электронный журнал лучевой диагностики.* 2020; 10 (1): 216–230. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-216-230>  
Semenova E.S., Maschenko I.A., Trufanov G.E. et al. Magnetic resonance imaging during pregnancy: current safety issues. *REJR.* 2020; 10 (1): 216–230. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-216-230> (In Russian)
  32. Ratnapalan S., Bentur Y., Koren G. Doctor, will that x-ray harm my unborn child? *CMAJ.* 2008; 179 (12): 1293–1296. <https://doi.org/10.1503/cmaj.080247>
  33. Brent R.L. Protection of the gametes embryo/fetus from prenatal radiation exposure. *Health Physics.* 2015; 108 (2): 242–274. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000235>
  34. Санитарные правила и нормативы. Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009): санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Москва – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. 100 с.  
Sanitary rules and norms. Norms of radiation safety (NRB–99/2009): sanitary and epidemiologic rules and standards. Moscow – Federal center of hygiene and epidemiology of the Federal office for inspectorate of customers and human well-being protection. 2009. 100 p. (In Russian)
  35. ACR-SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation [Electronic resource]. URL: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Radiology-Safety/Radiation-Safety> (accessed: 05.03.2023).
  36. Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ): Пер. с англ. / Под. общей ред. М.Ф. Киселёва, Н.К. Шандалы. М.: Изд-во ООО ПКФ “Алана”, 2009. 344 с.  
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) publication 103: Translation



- / Eds by Kiselev M.F., Shandali N.K. Moscow: "Alana" publishing, 2009. 344 p. (In Russian)
37. Крылов А.С., Наркевич Б.Я., Рыжков А.Д. Определение дозы-облучения плода у беременных женщин с раком молочной железы при сцинтиграфии сторожевых лимфатических узлов. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2021; 4 (4): 78–87. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2021-4-4-78-87>
38. Raman S.P., Johnson P.T., Deshmukh S. et al. CT dose reduction applications: available tools on the latest generation of CT scanners. *J. Am. Coll. Radiol.* 2013. 10 (1): 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2012.06.025>
39. Colletti P.M., Micheli O.A., Lee K.H. To shield or not to shield: application of bismuth breast shields. *Am. J. Roentgenol.* 2013; 200 (3): 503–507. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9997>
40. Кондрашов И.А., Мандал В. Неионные низкоосмолярные мономерные йодированные рентгеноконтрастные средства: некоторые аспекты использования при проведении компьютерной томографии у детей. *Медицинская визуализация*. 2017; 6: 118–129. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-6-118-129>
41. Webb J.A., Thomsen H.S., Morcos S.K; Members of Contrast Media Safety Committee of European Society of Urogenital Radiology (ESUR). The use of iodinated and gadolinium contrast media during pregnancy and lactation. *Eur. Radiol.* 2005; 15 (6): 1234–1240. <https://doi.org/10.1007/s00330-004-2583-y>
42. Rajaram S., Exley C.E., Fairlie F., Matthews S. Effect of antenatal iodinated contrast agent on neonatal thyroid function. *Br. J. Radiol.* 2012; 85 (1015): e238–e242. <https://doi.org/10.1259/bjr/29806327>
43. Kochi M.H., Kaloudis E.V., Ahmed W., Moore W.H. Effect of in utero exposure of iodinated intravenous contrast on neonatal thyroid function. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2012; 36 (2): 165–169. <https://doi.org/10.1097/rct.0b013e31824cc048>
44. Зиновьев А.Н., Мотовилова Т.М., Качалина Т.С. Место количественной оценки проходимости маточных труб в определении прогноза лечения трубно-перитонеального бесплодия. *РМЖ. Мать и дитя*. 2013; 21 (14): 760. Zinoviev A.N., Motovilova T.M., Kachalina T.S. The role of quantitative assessment of tubal insufflation in tubal type of infertility prognosis. *RMJ. Mother and Child*. 2013; 21 (12): 760. (In Russian)
45. American College of Radiology. Manual on contrast media, version 10.2; American College of Radiology: Reston, VA, USA, 2023. 148 p.
46. Wang P.I., Chong S.T., Kielar A.Z. et al. Imaging of pregnant and lactating patients: part 2, evidence-based review and recommendations. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 198 (4): 785–792. <https://doi.org/10.2214/AJR.11.8223>
47. Despierres M., Boudy A.S., Salleret L. et al. Feasibility, safety and impact of (<sup>18</sup>F)-FDG PET/CT in patients with pregnancy-associated cancer: experience of the French CALG (Cancer Associé à La Grossesse) network. *Acta Oncol.* 2022; 61 (3): 302–308. <https://doi.org/10.1080/0284186X.2021.2004323>
48. Zanotti-Fregonara P., Champion C., Trébossen R. et al. Estimation of the beta+ dose to the embryo resulting from <sup>18</sup>F-FDG administration during early pregnancy. *J. Nucl. Med.* 2008; 49 (4): 679–682. <https://doi.org/10.2967/jnumed.107.048900>
49. Benveniste H., Fowler J.S., Rooney W.D. et al. Maternal-fetal in vivo imaging: a combined PET and MRI study. *J. Nucl. Med.* 2003; 44 (9): 1522–1530.
50. Zanotti-Fregonara P., Ishiguro T., Yoshihara K. et al. <sup>18</sup>F-FDG fetal dosimetry calculated with PET/MRI. *J. Nucl. Med.* 2022; 63 (10): 1592–1597. <https://doi.org/10.2967/jnumed.121.263561>
51. Gropper A.B., Calvillo K.Z., Dominici L. et al. Sentinel lymph node biopsy in pregnant women with breast cancer. *Ann. Surg. Oncol.* 2014; 21 (8): 2506–2511. <https://doi.org/10.1245/s10434-014-3718-2>
52. Han S.N., Amant F., Cardonick E.H. et al. Axillary staging for breast cancer during pregnancy: feasibility and safety of sentinel lymph node biopsy. *Breast Cancer Res. Treat.* 2018; 168 (2): 551–557. <https://doi.org/10.1007/s10549-017-4611-z>
53. Han S.N., Amant F., Michielsen K. et al. Feasibility of whole-body diffusion-weighted MRI for detection of primary tumour, nodal and distant metastases in women with cancer during pregnancy: a pilot study. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (5): 1862–1874. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5126-z>





**Для корреспонденции\*:** Павловская Евгения Александровна – e-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

**Павловская Евгения Александровна** – канд. мед. наук, врач-рентгенолог (кабинета МРТ) отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4356-3690>. E-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

**Багненко Сергей Сергеевич** – доктор мед. наук, заместитель директора, заведующий научным отделением диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; профессор кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>

**Буровик Илья Александрович** – канд. мед. наук, заведующий отделением лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; ассистент кафедры онкологии медицинского факультета ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4714-1228>

**Бусько Екатерина Александровна** – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; доцент научно-клинического и образовательного центра “Лучевая диагностика и ядерная медицина” медицинского факультета ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-0940-6491>

**Тятков Станислав Александрович** – врач-рентгенолог, специалист магнитно-резонансной томографии отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1877-8852>

**Гришко Павел Юрьевич** – канд. мед. наук, научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, доцент отдела учебно-методической работы, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4665-6999>

**Берлев Игорь Викторович** – доктор мед. наук, заведующий научным онкологическим и хирургическим отделением гинекологии, врач-онколог ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; профессор, заведующий кафедрой акушерства и гинекологии ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-6937-2740>

**Contact\*:** Evgenia A. Pavlovskaya – e-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

**Evgenia A. Pavlovskaya** – Cand. of Sci. (Med.), radiologist MRI-specialist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4356-3690>. E-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

**Sergey S. Bagnenko** – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director and Head of the Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor of St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>

**Ilya A. Burovik** – Cand. of Sci. (Med.), Head of radiology department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; assistant professor in the department of oncology of Saint Petersburg University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4714-1228>

**Ekaterina A. Busko** – Doct. of Sci. (Med.), breast radiologist, leading researcher in Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; associate professor in clinical and educational center “Radiology and Nuclear medicine” of Saint-Petersburg University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-0940-6491>

**Stanislav A. Tiatkov** – M.D. radiologist, MRI-specialist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor of St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1877-8852>

**Pavel Yu. Grishko** – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, researcher, MRI-specialist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor of St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4665-6999>

**Igor V. Berlev** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the scientific oncology and surgical gynecology department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor, Head of the obstetrics and gynecology department, I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-6937-2740>