

Дозы облучения пациентов при проведении цифровой маммографии в Санкт-Петербурге и Ленинградской области

Водоватов А.В.^{1,2}, Косарлукова Е.А.¹, Костина К.Е.¹, Репин Л.В.¹, Горский Г.А.^{1,3}, Лихун Д.А.⁴

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербургу и Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

Золотым стандартом ранней диагностики злокачественных новообразований молочной железы является маммография (рентгеновское исследование молочной железы), выполняемая на цифровых и аналоговых рентгеновских аппаратах. Данная процедура выполняется всем женщинам в возрасте от 40 до 75 лет на регулярной основе (1 раз в год или два года); при этом выполняют маммографию обеих молочных желез в двух проекциях (4 рентгеновских снимка). Дозы от маммографии в соответствии с Нормами радиационной безопасности НРБ 99/2009 не должны превышать 1 мЗв в год. Таким образом, достоверная оценка уровней облучения пациентов для данной процедуры является особо актуальной. Целью исследования являлась оценка уровней облучения при проведении маммографических процедур в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Материалы и методы: Сбор данных был выполнен в 99 медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области в период 2023–2025 гг. для 141 цифрового маммографа. Для каждого маммографа выполнили оценки поглощенных доз в молочной железе и эффективных доз пациентов для различных толщин молочной железы в состоянии компрессии (2, 4, 6, 8 и 10 см) и проекций облучения (прямой и косой) в соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.2944–11. Результаты исследования и обсуждение: Средние эффективные дозы за 1 маммографию в прямой или косой проекциях находились в диапазоне 0,05–0,07 мЗв; эффективные дозы за маммографическое исследование (2 снимка в прямой и 2 снимка в косой проекциях) – 0,2–0,3 мЗв. При этом наблюдались существенные различия в диапазонах доз облучения пациентов: отношение минимальной и максимальной поглощенной дозы в молочной железе и эффективной дозы составляли до 60 раз соответственно. Основными факторами, определяющими дозы облучения пациентов, являются экспозиция и радиационный выход рентгеновского аппарата. Достоверной корреляции между дозами облучения пациентов и анодным напряжением, расстоянием источник-приемник и комбинацией анода и дополнительной фильтрации не установлено. Толщина молочной железы в состоянии компрессии также достоверно не влияла на эффективную дозу. Заключение: Несмотря на то, что средние уровни облучения пациентов при проведении цифровой маммографии являются приемлемыми и сопоставимы с международной практикой, для ряда аппаратов уровни облучения являются аномально высокими. Для таких аппаратов проведение мероприятий по оптимизации радиационной защиты пациентов является приоритетным.

Ключевые слова: цифровая маммография, эффективная доза, поглощенная доза в молочной железе, оптимизация, профилактические исследования.

Введение

Рак молочной железы (РМЖ) является самым распространенным онкологическим заболеванием среди женщин. По данным агентства GLOBOCAN в 2020 году в мире зарегистрировано 2 261 419 случаев РМЖ, что составляет 11,7 % от всех злокачественных новообразований (ЗНО) [1, 2]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) примерно в половине случаев РМЖ встречается у женщин, не имеющих каких-либо специфических факторов риска,

за исключением пола и возраста. Смертность при РМЖ в 2020 году составила 684 996 (6,9 % всей смертности от ЗНО) [2, 3]. РМЖ остается основной причиной смерти от ЗНО у женщин [1, 2]. В Российской Федерации РМЖ прочно удерживает первое место в структуре женской онкологической заболеваемости, составив в 2023 год около 23 % всех случаев [4]. Наибольший удельный вес заболеваемости РМЖ приходится на возрастную группу 30–59 лет (17,6 %). Золотым стандартом ранней диагностики злокачественных новообразований молочной железы является

Водоватов Александр Валерьевич

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: vodovatoff@gmail.com

маммография (рентгеновское исследование молочной железы), выполняемая на цифровых и аналоговых рентгеновских аппаратах. В 2024 году в Российской Федерации было выполнено 2,7 миллиона маммографических процедур (0,3 миллиона на аналоговых и 2,4 миллиона на цифровых аппаратах соответственно), что соответствует коллективной дозе в 2800 чел.-Зв. Маммографии вносят 12 % вклада в коллективную дозу от рентгенографических процедур.

Маммографические процедуры выполняются как в целях диагностики патологических состояний молочной железы (карцином, фиброаденом, цист, гинекомастий, и пр.) [5], так и в рамках скрининговых программ. В соответствии с действующими клиническими рекомендациями [2], массовые маммографические обследования проводятся женщинам в возрасте от 40 до 75 лет включительно в рамках первого этапа диспансеризации 1 раз в два года. Также маммографии выполняют в рамках первичных (однократно) и периодических (1 раз в год) медицинских осмотров для отдельных категорий работников¹. При этом выполняют маммографию обеих молочных желез в двух проекциях (4 рентгеновских снимка).

В действующих Нормах радиационной безопасности НРБ 99/2009² годовая эффективная доза практически здоровых лиц, проходящих обоснованные профилактические рентгенорадиологические обследования, или обследования в связи с профессиональной деятельностью, не должна превышать 1 мЗв. Данное ограничение в соответствии с Комментариями к Нормам радиационной безопасности [6] интерпретируется как гигиенический норматив. В связи с тем, что эффективные дозы при маммографии будут определяться антропометрическими характеристиками пациентов (главным образом толщиной молочной железы в состоянии компрессии), возможно превышение суммарной годовой эффективной дозы за флюорографию и маммографию 1 мЗв для отдельных пациентов [7]. Вышеуказанные факторы обуславливают особый интерес к оценке доз облучения и радиационных рисков пациентов, проходящих маммографические процедуры.

В зарубежной литературе представлены детальные оценки уровней облучения пациентов, проходящих маммографические процедуры на различных рентгеновских аппаратах [8–17]. В отечественных источниках актуальные данные о дозах облучения пациентов отсутствуют,

что затрудняет достоверную оценку выполнимости и применимости требований НРБ 99/2009.

Цель исследования – выполнить оценку уровней облучения пациентов при проведении маммографических процедур в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Материалы и методы

Дизайн исследования: ретроспективное поперечное исследование. Сбор данных был выполнен в 99 медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области в период 2023–2025 гг. для 141 цифрового маммографа. Для каждого маммографа выполнили оценки поглощённых доз в молочной железе (ПДМ) и эффективных доз (ЭД) пациентов для различных толщин молочной железы в состоянии компрессии (2, 4, 6, 8 и 10 см) и проекций облучения (прямой и косой).

В соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.2944-11³ для оценки доз облучения пациентов для каждого протокола маммографии собирали следующие параметры: расстояние источник-приемник (РИП, см); анодное напряжение (кВ); экспозиция (мАс); и радиационный выход маммографа для соответствующего напряжения (мГр×м²/мАс). Для каждого маммографа также фиксировали комбинацию анода мишени и дополнительного фильтра рентгеновского излучения. После верификации полученных данных в выборку протоколов проведения цифровых маммографических процедур для дальнейшего статистического анализа было включено 859 протоколов. Верификация включала в себя исключение протоколов с эффективными дозами ниже 0,005 мЗв как заведомо недостоверных.

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения Statistica 12 и Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение

Сводная информация о параметрах проведения маммографических процедур в выбранных медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области представлена в таблице 1.

Сведения о рассчитанных ПДМ и ЭД представлены в таблице 2.

¹ Приказ Министерства здравоохранения РФ от 28 января 2021 г. N 29н "Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры" (с изменениями и дополнениями) [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 29n "On approval of the Procedure for conducting mandatory preliminary and periodic medical examinations of employees, provided for in Part Four of Article 213 of the Labor Code of the Russian Federation, a list of medical contraindications to work with harmful and (or) hazardous production factors, as well as work during the performance of which mandatory preliminary and periodic medical examinations are carried out" (with amendments and additions) (In Russ.)]

² Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. No 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный No 14534. [Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standards (RSS-99/2009)". Approved by Decree No. 47 of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation on July 7, 2009. Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on August 14, 2009, Registration No. 14534 (In Russ.)]

³ МУ 2.6.1.2944-11. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19.07.2011) (ред. от 30.10.2019) ["МУ 2.6.1.2944-11. 2.6.1. Ionizing Radiation, Radiation Safety. Control of Effective Radiation Doses to Patients During Medical X-Ray Examinations. Methodical Guidelines" (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on July 19, 2011) (as amended on October 30, 2019) (In Russ.)]

Таблица 1. Параметры проведения маммографических процедур в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Данные представлены в формате: среднее $\pm$ СКО (минимум – максимум)

[Table 1. Basic protocol parameters for digital mammography procedures performed in medical facilities in St. Petersburg and Leningrad Region. Data presented as: mean $\pm$ SD (min – max)]

Толщина железы при компрессии, см [Compressed breast thickness, cm]	Проекция [Projection]	Число протоколов, шт [Number of protocol, pcs]	РИП, см [FID, cm]	Анодное напряжение, кВ [Tube voltage, kV]	Экспозиция, мАс [Tube current time product, mAs]	Радиационный выход, мГр $\times$ м ² /мАс [Radiation output, mGy $\times$ m ² /(mAs)]
2	Прямая [Craniocaudal]	118	63 $\pm$ 6 (18 – 66)	26 $\pm$ 2,4 (22 – 34)	32,2 $\pm$ 17,9 (2,3 – 110)	0,017 $\pm$ 0,015 (0,003 – 0,1)
	Косая [Oblique]	63	60 $\pm$ 6,38 (18 – 65)	26 $\pm$ 2,4 (22 – 34)	39 $\pm$ 23,4 (8,4 – 127)	0,017 $\pm$ 0,015 (0,003 – 0,074)
4	Прямая [Craniocaudal]	131	63 $\pm$ 5,67 (20 – 68)	27 $\pm$ 2,4 (23 – 34)	50 $\pm$ 25,8 (4,5 – 176)	0,02 $\pm$ 0,022 (0,002 – 0,22)
	Косая [Oblique]	76	60 $\pm$ 5,76 (20 – 68)	28 $\pm$ 2,2 (24 – 32)	57,5 $\pm$ 32,5 (10,9 – 178)	0,02 $\pm$ 0,015 (0,002 – 0,074)
6	Прямая [Craniocaudal]	130	63 $\pm$ 5,58 (22 – 68)	28 $\pm$ 2,5 (24 – 35)	63,4 $\pm$ 35,4 (4,4 – 202,3)	0,024 $\pm$ 0,023 (0,004 – 0,22)
	Косая [Oblique]	75	60 $\pm$ 5,6 (22 – 68)	30 $\pm$ 2,3 (25 – 34)	74 $\pm$ 32,7 (15 – 162)	0,025 $\pm$ 0,015 (0,004 – 0,07)
8	Прямая [Craniocaudal]	125	63 $\pm$ 5,52 (24 – 68)	30 $\pm$ 2,7 (25 – 35)	80 $\pm$ 56,1 (4,4 – 319,4)	0,029 $\pm$ 0,024 (0,005 – 0,22)
	Косая [Oblique]	66	60 $\pm$ 5,68 (24 – 68)	30,5 $\pm$ 2,4 (25 – 35)	92,7 $\pm$ 51,2 (14,8 – 257)	0,032 $\pm$ 0,016 (0,008 – 0,066)
10	Прямая [Craniocaudal]	50	63 $\pm$ 4,72 (30 – 63)	30,5 $\pm$ 2,3 (27 – 35)	85 $\pm$ 28,7 (4,4 – 149,8)	0,029 $\pm$ 0,02 (0,014 – 0,116)
	Косая [Oblique]	5	60 $\pm$ 1,64 (60 – 63)	35 $\pm$ 0,9 (33 – 35)	100 $\pm$ 29,9 (32 – 100)	0,036 $\pm$ 0,019 (0,028 – 0,074)

Таблица 2. Поглощенные дозы в молочной железе (ПДМ) и эффективные дозы (ЭД) при проведении цифровой маммографии в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Данные представлены в формате: среднее $\pm$ СКО (минимум – максимум)

[Table 2. Absorbed glandular doses (AGD) and effective doses (ED) for digital mammography procedures performed in medical facilities in St. Petersburg and Leningrad Region. Data presented as: mean $\pm$ SD (min – max)]

Толщина молочной железы в состоянии компрессии, см [Compressed breast thickness, cm]	Проекция [Projection]	ПДМ, мГр [AGD, mGy]		ЭД, мЗв [ED, mSv]			
		За 1 снимок [Per one image]	ОММ* [MMR]	Сумма за исследование** [Sum per examination]	За 1 снимок [Per one image]	ОММ* [MMR]	Сумма за исследование** [Sum per examination]
2	Прямая [Craniocaudal]	1,05 $\pm$ 0,9 (0,14 – 6,07)	44	5,0 / 27,5	0,05 $\pm$ 0,05 (0,007 – 0,3)	44	0,24 / 1,37
	Косая [Oblique]	1,44 $\pm$ 1,4 (0,17 – 7,67)	46		0,07 $\pm$ 0,07 (0,008 – 0,38)	46	
4	Прямая [Craniocaudal]	1,07 $\pm$ 0,83 (0,11 – 5,35)	50	4,6 / 24,7	0,05 $\pm$ 0,04 (0,005 – 0,27)	50	0,22 / 1,24
	Косая [Oblique]	1,2 $\pm$ 0,94 (0,14 – 7,01)	50		0,06 $\pm$ 0,05 (0,006 – 0,35)	50	
6	Прямая [Craniocaudal]	1,18 $\pm$ 0,95 (0,12 – 7,07)	57	4,9 / 24,9	0,06 $\pm$ 0,05 (0,006 – 0,38)	60	0,24 / 1,30
	Косая [Oblique]	1,28 $\pm$ 0,84 (0,16 – 5,29)	33		0,06 $\pm$ 0,04 (0,008 – 0,27)	33	
8	Прямая [Craniocaudal]	1,47 $\pm$ 1,55 (0,27 – 12,4)	46	6,2 / 32,4	0,08 $\pm$ 0,08 (0,01 – 0,66)	46	0,31 / 1,70
	Косая [Oblique]	1,61 $\pm$ 1,00 (0,27 – 3,82)	14		0,08 $\pm$ 0,05 (0,01 – 0,19)	14	
10	Прямая [Craniocaudal]	1,00 $\pm$ 0,36 (0,34 – 1,72)	5	4,6 / 7,3	0,05 $\pm$ 0,02 (0,02 – 0,09)	5	0,23 / 0,36
	Косая [Oblique]	1,31 $\pm$ 0,44 (0,68 – 1,86)	3		0,07 $\pm$ 0,02 (0,04 – 0,09)	2	

* Отношение максимального к минимальному значения [Maximum to minimum ratio].

** Исследование, включающее в себя 2 снимка в прямой и 2 снимка в боковых проекциях. Данные представлены в формате: средняя доза за исследование / максимальная доза за исследование [Examination includes 2 images in craniocaudal projection and 2 images in oblique projection. Data presented as: mean dose per examination / maximum dose per examination].

Анализ данных, представленных в таблице 1, демонстрирует прямую положительную связь экспозиции и анодного напряжения с увеличением толщины молочной железы в состоянии компрессии. Для получения качественного изображения с увеличением толщины и плотности молочной железы необходимо увеличивать интенсивность потока рентгеновского излучения (увеличивать силу тока и время экспозиции), увеличивать энергию рентгеновского излучения, или использовать комбинацию этих параметров. Следует отметить, что рост анодного напряжения ассоциирован со снижением контраста, т.е. со снижением диагностического качества изображения.

Результаты, представленные в таблице 2, свидетельствуют о существенных различиях в дозах облучения пациентов при проведении цифровой маммографии: отношение минимальной и максимальной ПДМ и ЭД составляют до 60 раз соответственно. Основными факторами, определяющими дозы облучения пациентов, являются экспозиция и радиационный выход рентгеновского аппарата. Эти показатели находятся в средней положительной корреляции с ПДМ и ЭД (коэффициенты корреляции Спирмена – в диапазоне от 0,4 до 0,6; $p < 0,005$). Достоверной корреляции

между дозами облучения пациентов и анодным напряжением, РИП и комбинацией анода и дополнительной фильтрации не установлено.

Для определения степени влияния проекции облучения и толщины молочной железы в состоянии компрессии на эффективную дозу был использован непараметрический дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса с дальнейшим попарным сравнением всех комбинаций выборок с использованием критерия Манна-Уитни. Результаты сравнения показали отсутствие достоверных различий между дозами в прямой и косой проекциях для всех толщин молочной железы. Для маммографий, выполненных в прямой проекции, достоверные различия ($p < 0,05$) наблюдались только для выборок эффективных доз для толщин молочной железы 2 и 8 см; для маммографий, выполненных в косой проекции, достоверные различия отсутствовали для всех толщин молочной железы. Распределения эффективных доз за 1 снимок для различных толщин молочной железы в состоянии компрессии представлены на рисунках 1 и 2 для прямой и косой проекций соответственно.

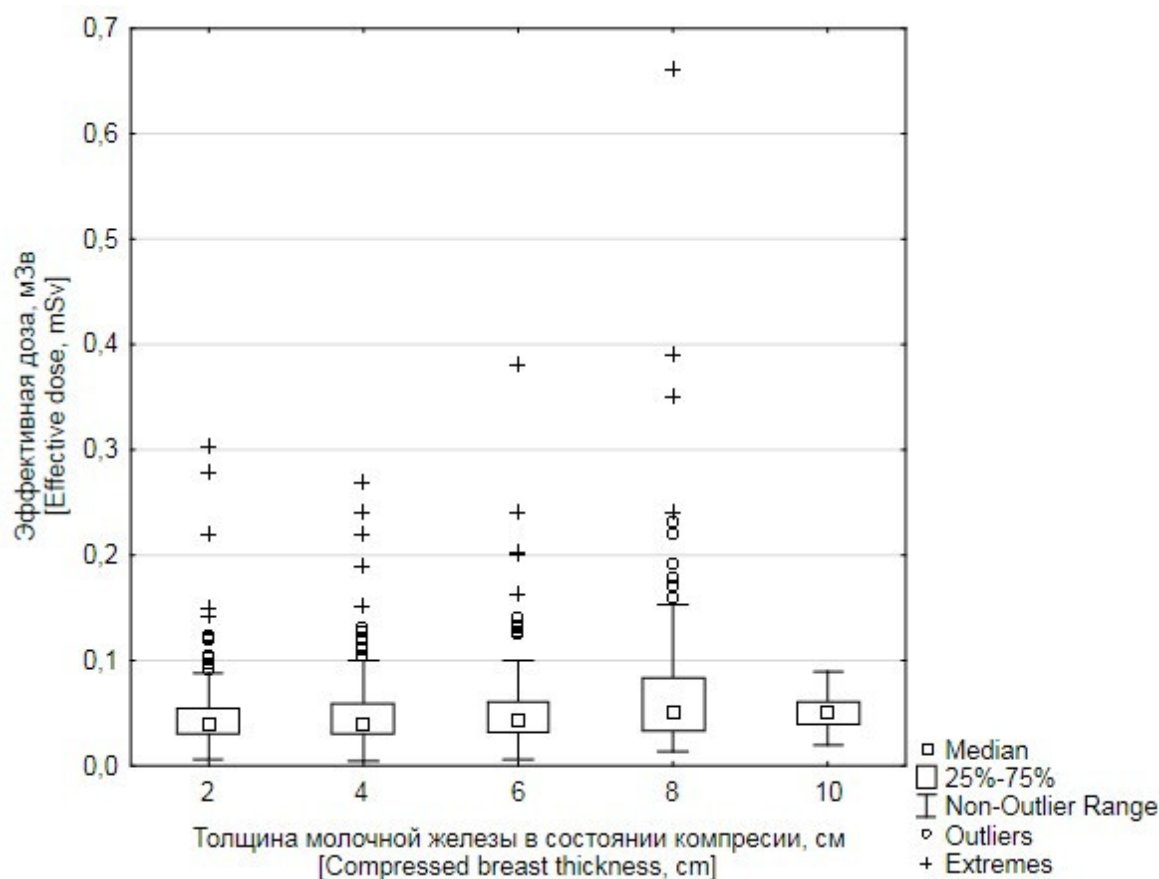


Рис. 1. Распределения эффективных доз для различных толщин молочной железы в состоянии компрессии для процедур цифровой маммографии, выполненных в прямой проекции. «○» – значения, превышающие 95-й перцентиль распределения эффективных доз; «+» – значения, превышающие 99-й перцентиль распределения эффективных доз

[Fig. 1. Distribution of effective doses for various compressed breast thicknesses in craniocaudal projections from digital mammography procedures. "○" – values exceeding the 95th percentile of the effective dose distribution; "+" – values exceeding the 99th percentile of the effective dose distribution]

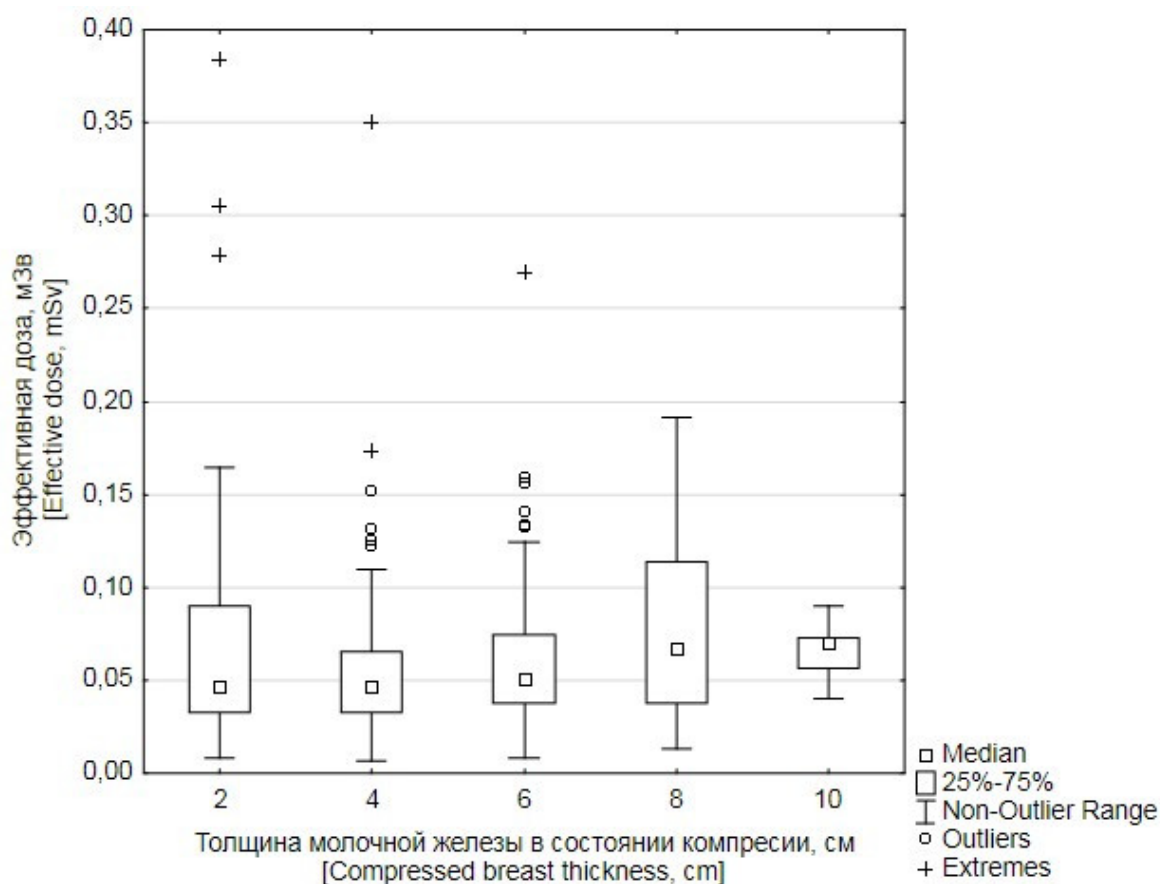


Рис. 2. Распределения эффективных доз для различных толщин молочной железы в состоянии компрессии для процедур цифровой маммографии, выполненных в косой проекции. «○» – значения, превышающие 95-й перцентиль распределения эффективных доз; «+» – значения, превышающие 99-й перцентиль распределения эффективных доз

[Fig. 2. Distribution of effective doses for various compressed breast thicknesses in mediolateral oblique projections during digital mammography procedures. “○” – values exceeding the 95th percentile of the effective dose distribution; “+” – values exceeding the 99th percentile of the effective dose distribution]

Результаты оценки эффективных доз пациентов за маммографическое исследование (4 снимка) показывают, что они в среднем находятся в диапазоне 0,2–0,3 мЗв. В то же время, для ряда аппаратов суммарная эффективная доза за исследование может превышать 1 мЗв, что противоречит требованиям НРБ 99/2009. Следует еще раз отметить отсутствие различий в суммарных эффективных дозах для пациен-

тов с различной толщиной молочной железы. Данная особенность отмечается также и в зарубежных публикациях с анализом уровней облучения при цифровой маммографии [15].

ПДМ, определенные в настоящем исследовании, были сравнены с данными из зарубежных публикаций. Результаты сравнения представлены в таблице 3. Следует отметить, что в зарубежных источниках представлены ПДМ, усредненные по проекциям.

Таблица 3. Сравнение ПДМ с опубликованными данными. Данные представлены в формате: среднее (минимум-максимум).

[Table 3. Comparison of AGD from the current study with published data. Data presented as: mean (minimum-maximum)]

Толщина железы при компрессии, см [Compressed breast thickness, cm]	ПДМ, мГр, собственные данные [AGD, mGy, current study]		ПДМ, мГр, литературные данные [AGD, mGy, published data]		
	Прямая [Craniocaudal]	Косая [Oblique]	Du X., Yu. N., Zhang Y., Wang J.T [15]	Lalji U.C., Jeukens C.R., Houben I. et al. [17]	Hendrick R.E., Pisano E.D., Averbukh A. et al. [9]
< 2	1,05	1,44	1,02 (0,87 – 1,17)		1,14 (0,79 – 1,59)
2–3	(0,14 – 6,07)	(0,17 – 7,67)	1,60 (1,48 – 1,72)	1,15 (0,69 – 1,75)	1,40 (1,11 – 1,74)
3–4	1,07	1,2	1,72 (1,62 – 1,82)		1,70 (1,59 – 1,81)
4–5	(0,11 – 5,35)	(0,14 – 7,01)	1,75 (1,67 – 1,83)	1,30 (0,90 – 2,60)	1,86 (1,76 – 1,96)

Толщина железы при компрессии, см [Compressed breast thickness, cm]	ПДМ, мГр, собственные данные [AGD, mGy, current study]		ПДМ, мГр, литературные данные [AGD, mGy, published data]		
	Прямая [Craniocaudal]	Косая [Oblique]	Du X., Yu. N., Zhang Y., Wang J.T [15]	Lalji U.C., Jeukens C.R., Houben I. et al. [17]	Hendrick R.E., Pisano E.D., Averbukh A. et al. [9]
5–6	1,18	1,28	1,98 (1,88 – 2,08)	1,80 (1,10 – 2,80)	2,08 (1,98 – 2,22)
6–7	(0,12 – 7,07)	(0,16 – 5,29)			2,27 (2,17 – 2,40)
7–8	1,47 (0,27 – 12,4)	1,61 (0,27 – 3,82)	2,30 (2,12 – 2,48)	2,00 (1,40 – 2,70)	2,92 (1,88 – 3,96)
> 8	1,00 (0,34 – 1,72)	1,31 (0,68 – 1,86)		2,19 (1,90 – 2,71)	2,50 (2,12 – 3,01)

Результаты, представленные в таблице 3, свидетельствуют о хорошей сходимости отечественных и зарубежных данных: различия в средних значениях ПДМ не превышают полутора раз. В то же время наблюдаются значимые различия в минимальных (до 10 раз) и максимальных (до 5 раз) значениях ПДМ. Это еще раз подчеркивает значительный потенциал для оптимизации протоколов проведения цифровой маммографии в отечественной практике.

По результатам настоящего исследования были идентифицированы маммографы с аномально высокими дозами облучения пациентов, для которых проведение оптимизации радиационной защиты пациентов является приоритетным. К данной группе относятся аппараты, эффективные дозы для которых находятся за пределами 90-го перцентиля распределения эффективных доз. Аномально высокие дозы наблюдались для различных моделей маммографов; достоверная корреляция между сроком эксплуатации маммографа, типом приемника рентгеновского изображения и дозами облучения пациентов отсутствовала. Для данных маммографов необходимо провести повторный сбор данных; при подтверждении сохранения аномально высоких доз – проводить коррекцию параметров проведения процедур. Также целесообразно сосредоточиться на разработке единых типовых протоколов, обеспечивающих необходимое диагностическое качество изображения при поддержании доз облучения пациентов на приемлемом уровне.

Заключение

В данной работе был выполнен анализ уровней облучения пациентов при проведении цифровой маммографии в 99 медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области для 141 цифрового маммографа в период 2023–2025 гг. Средние эффективные дозы за 1 маммографию в прямой или косой проекциях находились в диапазоне 0,05–0,07 мЗв; эффективные дозы за маммографическое исследование (2 снимка в прямой и 2 снимка в косой проекциях) – 0,2–0,3 мЗв. При этом наблюдались существенные различия в диапазонах доз облучения пациентов: отношение минимальной и максимальной поглощенной дозы в молочной железе и эффективной дозы составляли до 60 раз соответственно. Основными факторами, определяющими дозы облучения пациентов, являются экспозиция и радиационный выход рентгеновского аппарата. Достоверной корреляции между дозами облучения пациентов и анодным

напряжением, РИП и комбинацией анода и дополнительной фильтрации не установлено. Толщина молочной железы в состоянии компрессии также достоверно не влияла на эффективную дозу. Различия в средних значениях поглощенной дозы в молочной железе между настоящим исследованием и актуальными литературными зарубежными данными не превышают полутора раз. В то же время наблюдаются значимые различия в минимальных (до 10 раз) и максимальных (до 5 раз) значениях поглощенной дозы в молочной железе. Это еще раз подчеркивает значительный потенциал для оптимизации протоколов проведения цифровой маммографии в отечественной практике.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Водоватов А.В. разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, подготовил окончательный вариант рукописи.

Косарлукова Е.А. провела анализ данных, редактировала промежуточный вариант рукописи.

Костина К.Е. провела анализ данных, редактировала промежуточный вариант рукописи.

Репин Л.В. провел анализ данных, редактировал промежуточный вариант рукописи.

Горский Г.А. организовал проведение исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области и отредактировал промежуточный вариант статьи.

Лихун Д.А. организовал проведение исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области и отредактировал промежуточный вариант статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовки данной статьи.

Сведения об источнике финансирования

Исследования выполнены в рамках выполнения НИР «Научное обоснование Концепции обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации при проведении современных рентгенорадиологических процедур».

Литература

1. Cancer today. GLOBOCAN. URL: <https://gco.iarc.fr> (Дата обращения: 06.04.2026).

2. Драпкина О.М., Каприн А.Д., Алмазова И.И. и др. Скрининг злокачественных новообразований молочной железы в рамках диспансеризации определенных групп взрослого населения. Методические рекомендации // Первичная медико-санитарная помощь. 2024. Т. 1, № 1. С. 63-80. DOI: 10.15829/3034-4123-2024-5.
3. Рак молочной железы. Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru> (Дата обращения: 06.04.2026).
4. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. 276 с.
5. Bontrager K.L., Lampignano J.P. Textbook of radiographic positioning and related anatomy. 8th ed. Mosby, 2014. 826 p.
6. Водоватов А.В. Совершенствование норм радиационной безопасности. Часть 1: целесообразность ограничения доз медицинского облучения практически здоровых лиц // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 3. С. 115-124. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124.
7. Hendrick R.E. Radiation doses and cancer risks from breast imaging studies // Radiology. 2010. Vol. 257, No. 1. P. 246-253. DOI: 10.1148/radiol.10100570.
8. Hendrick R.E., Pisano E.D., Averbukh A. et al. Comparison of acquisition parameters and breast dose in digital mammography and screen-film mammography in the American College of Radiology Imaging Network digital mammographic imaging screening trial // AJR. American Journal of Roentgenology. 2010. Vol. 194 (2). P. 362-369. DOI: 10.2214/AJR.08.2114.
9. Sulieman A., Serhan O., Al-Mohammed H.I. et al. Estimation of cancer risks during mammography procedure in Saudi Arabia // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26 (6). P. 1107-1111. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.10.005.
10. Baek J.E., Kang B.J., Kim S.H., Lee H.S. Radiation dose affected by mammographic composition and breast size: first application of a radiation dose management system for full-field digital mammography in Korean women // World Journal of Surgical Oncology. 2017. Vol. 15. P. 38. DOI: 10.1186/s12957-017-1107-6.
11. Amiri F., Jacob B., Dkhar W. et al. Evaluation of mean glandular dose in relation to breast density in digital mammography // Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2025. Vol. 56. P. 161. DOI: 10.1186/s43055-025-01586-y.
12. Bečirović H., Kunosić S., Halilović M. et al. Radiation Exposure of Patients in Mammography: An Overview of the 15-Year Practice. CMBEBIH 2021: Proceedings of the International Conference on Medical and Biological Engineering, CMBEBIH 2021, Mostar, Bosnia and Herzegovina, 21-24 April 2021. Cham: Springer, 2021. Vol. 84. P. 809-816. DOI: 10.1007/978-3-030-73909-6_92.
13. Warren L.M., Dance D.R., Young K.C. Radiation risk of breast screening in England with digital mammography // The British Journal of Radiology. 2016. Vol. 89 (1067). P. 20150897. DOI: 10.1259/bjr.20150897.
14. Du X., Yu N., Zhang Y., Wang J.T. The relationship of the mean glandular dose with compressed breast thickness in mammography // Journal of Public Health and Emergency. 2017. Vol. 1. P. 32. DOI: 10.21037/jphe.2017.03.10.
15. Bor D., Tukul S., Olgar T. et al. Investigation of mean glandular dose versus compressed breast thickness relationship for mammography // Radiation Protection Dosimetry. 2008. Vol. 129 (1-3). P. 160-164. DOI: 10.1093/rpd/ncn140.
16. Lalji U.C., Jeukens C.R., Houben I. et al. Evaluation of low-energy contrast-enhanced spectral mammography images by comparing them to full-field digital mammography using EUREF image quality criteria // European Radiology. 2015. Vol. 25 (10). P. 2813-2820. DOI: 10.1007/s00330-015-3695-2.
17. Sechopoulos I., Suryanarayanan S., Vedantham S. et al. Radiation dose to organs and tissues from mammography: Monte Carlo and phantom study // Radiology. 2008. Vol. 246 (2). P. 434-443. DOI: 10.1148/radiol.2462070256.

Поступила: 15.04.2026

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. **Адрес для переписки:** 197101, ул. Мира 8, Санкт-Петербург, Россия; E-mail: vodovatoff@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5191-7535, РИНЦ Author ID: 859255

Косарлукова Елена Алексеевна – исполняющая обязанности младшего научного сотрудника Информационно-аналитического центра 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: 0009-0007-6476-9571

Костина Ксения Евгеньевна – исполняющая обязанности младшего научного сотрудника лаборатории радиационного контроля 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: 0009-0007-6476-9571

Репин Леонид Викторович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра 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: 0000-0002-4857-6792, РИНЦ Author ID: 653792

Горский Григорий Анатольевич – кандидат медицинских наук, заместитель директора по инновационной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева; доцент кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-7310-9718, РИНЦ Author ID: 656343

Лихун Дмитрий Александрович – начальник отдела надзора по радиационной гигиене Межрегионального управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербургу и Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Водоватов А.В., Косарлукова Е.А., Костина К.Е., Репин Л.В., Горский Г.А., Лихун Д.А. Дозы облучения пациентов при проведении цифровой маммографии в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 2. С. 34–42. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-34-42

Radiation doses for patients undergoing digital mammography in Saint Petersburg and Leningrad Region

Aleksandr V. Vodovatov^{1,2}, Elena A. Kosarlukova¹, Ksenia E. Kostina¹, Leonid V. Repin¹, Grigory A. Gorsky^{1,3}, Dmitry A. Likhun⁴

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

² Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

³ I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia

⁴ Interregional Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing for the city of Saint Petersburg and the Leningrad Region, Saint Petersburg, Russia

The gold standard for early diagnosis of malignant breast neoplasms is mammography (X-ray examination of the breast) performed using digital and analogue X-ray units. This procedure is routinely conducted for all women aged 40 to 75 years on a regular basis (once every one or two years); mammography of both breasts is performed in two projections (four X-ray images). Doses from mammography, in accordance with the Norms of the Radiation Safety NRB 99/2009, shall not exceed 1 mSv per year. Hence, reliable assessment of patient doses for this procedure is important. The aim of this study was to evaluate the patient doses from mammographic procedures in medical facilities in St. Petersburg and the Leningrad Region. Materials and Methods: Data collection was performed at 99 medical facilities in St. Petersburg and the Leningrad Region for 141 digital mammography units during the period 2023–2025. For each mammography unit, mean glandular dose and effective dose was assessed for various compressed breast thicknesses (2, 4, 6, 8, and 10 cm) and projections (craniocaudal and mediolateral oblique), in accordance with the methodological guidelines MU 2.6.1.2944-11. Results and Discussion: The mean effective doses per single mammographic image in either the craniocaudal or mediolateral oblique projection varied from 0.05 to 0.07 mSv; effective doses per complete mammographic examination (two craniocaudal and two mediolateral oblique images) varied from 0.2 to 0.3 mSv. At the same time, substantial differences in patient dose ranges were observed: the ratio between the minimum and maximum mean glandular dose and effective dose reached up by the factor of 60, respectively. The primary factors determining patient exposure doses were the exposure and the X-ray tube output. No significant correlation was found between patient doses and tube voltage, focal-image distance, or the anode/filter combination. Compressed breast thickness also did not significantly influence the effective dose. Conclusion: Although the mean patient exposure levels during digital mammography are acceptable and comparable with international practice, patient doses for several mammography units are anomalously high. For such units, the implementation of patient radiation protection optimization measures is a priority.

Key words: digital mammography, effective dose, mean glandular dose, optimization, screening examinations.

Authors' personal contribution

Vodovatov A.V. developed the study design, defined the aims and objectives, prepared the final version of the manuscript.

Kosarlukova E.A. performed data analysis, edited the interim version of the manuscript.

Kostina K.E. performed data analysis, edited the interim version of the manuscript.

Repin L.V. performed data analysis, edited the interim version of the manuscript.

Gorsky G.A. organized the conduct of the studies in St. Petersburg and Leningrad Oblast, and edited the interim version of the article.

Likhun D.A. organized the conduct of the studies in St. Petersburg and Leningrad Oblast, and edited the interim version of the article.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Sources of funding

The research was conducted within the framework of the scientific project titled «Scientific substantiation of the Concept for ensuring radiation safety of the population of the Russian Federation during modern radiological and X-ray procedures».

Aleksandr V. Vodovatov

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

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

References

1. Cancer today. GLOBOCAN. Available from: <https://gco.iarc.fr> [Accessed 06 April 2026].
2. Drapkina OM, Kaprin AD, Almazova II, Drozdova LYu, Ivanova ES, Rozhkova NI, et al. Screening of malignant neoplasms of the breast as part of the medical examination of certain groups of the adult population. Guidelines. *Pervichnaya mediko-sanitarnaya pomoshch = Primary Health Care (Russian Federation)*. 2024;1(1): 63-80. DOI: 10.15829/3034-4123-2024-5. (In Russian).
3. Breast cancer. World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/ru> [Accessed 06 April 2026]. (In Russian).
4. Kaprin AD, Starinsky VV, Shakhzadova AO. Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality). Moscow: P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute - a branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2024. 276 p.
5. Bontrager KL, Lampignano JP. Textbook of radiographic positioning and related anatomy. 8th ed. Mosby; 2014. 826 p.
6. Vodovatov AV. Improvement of radiation safety standards. Part 1. Appropriateness of the limitation of the medical exposure of healthy individuals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(3): 115-124. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124. (In Russian).
7. Hendrick RE. Radiation doses and cancer risks from breast imaging studies. *Radiology*. 2010;257(1): 246-253.
8. Hendrick RE, Pisano ED, Averbukh A, Moran C, Berns EA, Yaffe MJ, et al. Comparison of acquisition parameters and breast dose in digital mammography and screen-film mammography in the American College of Radiology Imaging Network digital mammographic imaging screening trial. *AJR. American Journal of Roentgenology*. 2010;194(2): 362-369. DOI: 10.2214/AJR.08.2114.
9. Sulieman A, Serhan O, Al-Mohammed HI, Mahmoud MZ, Alkhorayef M, Alonazi B, et al. Estimation of cancer risks during mammography procedure in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2019;26(6): 1107-1111. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.10.005.
10. Baek JE, Kang BJ, Kim SH, Lee HS. Radiation dose affected by mammographic composition and breast size: first application of a radiation dose management system for full-field digital mammography in Korean women. *World Journal of Surgical Oncology*. 2017;15(1): 38. DOI: 10.1186/s12957-017-1107-6.
11. Amiri F, Jacob B, Dkhar W, Mustaffa SP, Kadavigere R, Pradhan A, et al. Evaluation of mean glandular dose in relation to breast density in digital mammography. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2025;56: 161. DOI: 10.1186/s43055-025-01586-y.
12. Bećirović H, Kunosić S, Halilović M, Lasić I, Galić S, Bajrović J. Radiation Exposure of Patients in Mammography: An Overview of the 15-Year Practice. In: Badnjević A, Gurbeta Pokvić L. (eds). *CMBEBIH 2021: Proceedings of the International Conference on Medical and Biological Engineering*, CMBEBIH 2021, 21-24 April 2021, Mostar, Bosnia and Herzegovina. Cham: Springer; 2021. Vol. 84. P. 809-816. DOI:10.1007/978-3-030-73909-6_92.
13. Warren LM, Dance DR, Young KC. Radiation risk of breast screening in England with digital mammography. *The British Journal of Radiology*. 2016;89(1067): 20150897. DOI: 10.1259/bjr.20150897.
14. Du X, Yu N, Zhang Y, Wang JT. The relationship of the mean glandular dose with compressed breast thickness in mammography. *Journal of Public Health and Emergency*. 2017;1: 32 DOI: 10.21037/jphe.2017.03.10.
15. Bor D, Tükel S, Olgar T, Toklu T, Aydın E, Akyol O. Investigation of mean glandular dose versus compressed breast thickness relationship for mammography. *Radiation Protection Dosimetry*. 2008;129(1-3): 160-164. DOI: 10.1093/rpd/ncn140.
16. Lalji UC, Jeukens CR, Houben I, Nelemans PJ, van Engen RE, van Wylick E, et al. Evaluation of low-energy contrast-enhanced spectral mammography images by comparing them to full-field digital mammography using EUREF image quality criteria. *European Radiology*. 2015;25(10): 2813-2820. DOI: 10.1007/s00330-015-3695-2.
17. Sechopoulos I, Suryanarayanan S, Vedantham S, D'Orsi CJ, Karellas A. Radiation dose to organs and tissues from mammography: Monte Carlo and phantom study. *Radiology*. 2008;246(2): 434-443. DOI: 10.1148/radiol.2462070256.

Received: April 15, 2026

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University (8, Mira Str., Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovattoff@gmail.com); ORCID: 0000-0002-5191-7535, RSCI Author ID: 859255

Elena A. Kosarlukova – Acting Junior Researcher, Information Analytical Center, 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: 0009-0007-6476-9571

Ksenia E. Kostina – Acting Junior Researcher, Laboratory of Radiation Control, 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: 0009-0007-6476-9571

Leonid V. Repin – Junior Researcher, Information Analytical Center, 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: 0000-0002-4857-6792, RSCI Author ID: 653792

Grigory A. Gorsky – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director of the Innovation Work, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-7310-9718, RSCI Author ID: 656343

Dmitry A. Likhun – Head of the Radiation Hygiene Supervision Department of the Interregional Department of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing for the city of Saint Petersburg and Leningrad Region, Saint Petersburg, Russia

For citation: Vodovatov A.V., Kosarlukova E.A., Kostina K.E., Repin L.V., Gorsky G.A., Likhun D.A. Radiation doses for patients undergoing digital mammography in Saint Petersburg and Leningrad Region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 2. P. 34–42. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-34-42