

## Риск, уровни облучения и меры радиационной защиты молочной железы у женщин при проведении рентгенографических процедур

С.А. Кальницкий, Е.Р. Ладанова

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

*Цель работы – рассмотреть вопросы радиационной защиты молочной железы у женщин при проведении рентгенологических исследований в свете современных научных представлений. Данный интерес объясняется отнесением молочной железы Международной комиссией по радиационной защите (Публикация № 103) к наиболее радиочувствительным органам при использовании источников ионизирующего излучения. Материалы и методы – исследованы (проанализированы): риски ионизирующего излучения, заболеваемость раком молочной железы, объем и динамика рентгенологических исследований, органные и эффективные дозы облучения женщин. Результаты – показано, что при переходе на взвешивающие тканевые коэффициенты из Публикации № 103 Международной комиссии по радиационной защите эффективная доза облучения молочной железы при проведении маммографии увеличивается в 2,4 раза. Показано, что среди различных онкологических заболеваний рак молочной железы у женщин занимает первое место (составляя 85 на 100 тыс. чел.) и постоянно увеличивается (за 25 лет в 2 раза), намного опережая другие локализации. Внедрение скрининга рака молочной железы за это время способствовало значительному (в десятки раз) увеличению маммографий, что позволило повысить выявляемость заболевания, но при этом существенно возросла коллективная доза: в 2 раза за последние 7 лет. Определено, что облучение молочной железы у женщин при проведении маммографии составляет лишь часть ее суммарного облучения от всех рентгенологических исследований. Средняя органная доза молочной железы от всех рентгенографических процедур составляет: в прямой проекции 1,57 мГр (в диапазоне от 0,20 мГр до 3,31 мГр для разных локализаций исследований) и в боковой 2,91 мГр (в диапазоне от 0,51 мГр до 9,29 мГр). Значительное облучение молочной железы обуславливают исследования костей скелета и, в частности, позвоночника, в том числе грудного (2,98 мГр) и поясничного отделов (4,57 мГр). Заключение – предлагается разработать меры радиационной защиты молочной железы у женщин при проведении рентгенологических исследований, отсутствующие в настоящее время, в том числе с помощью оптимизации дозы облучения и контроля качества. Следует, по возможности, закрывать молочные железы во время проведения рентгенологических исследований рентгенозащитным фартуком, особенно в боковой проекции, не мешая процессу обследования пациентки.*

**Ключевые слова:** рентгенологическое исследование, медицинское облучение, женщины, молочная железа, заболеваемость, рак молочной железы, маммография, органная доза, риск, эффективная доза, радиационная защита, оптимизация, контроль качества.

### Введение

Согласно Публикации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) № 103 «Рекомендации 2007 г. Международной комиссии по радиационной защите», молочная железа (МЖ) впервые отнесена к наиболее радиочувствительным органам [1]. Это означает, что при медицинских диагностических рентгенологических исследованиях (РЛИ) она подвергается повышенному риску облучения. Как следствие, облучение МЖ приводит к увеличению эффективной дозы (ЭД) у женщин в лучевой диагностике, а потому она в первую очередь

нуждается в радиационной защите. В отечественном регулировании медицинского облучения данный аспект пока не нашел практического применения.

Параллельно с вышесказанным в российской популяции растет онкологическая заболеваемость, в том числе у женщин, включая рак МЖ. Данный процесс обуславливает необходимость увеличения числа диагностических и особенно профилактических (скрининговых) исследований (маммография, томосинтез) МЖ, направленных на раннее выявление рака МЖ у женщин, что, в свою очередь, сопровождается дополнительным облучением

**Кальницкий Сергей Анатольевич**

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: s.kalnitsky@niirg.ru

женщин [2]. Помимо маммографии, облучение МЖ происходит также при других РЛИ, включая рентгенографию (рентгеновские снимки), число которых постоянно растет.

Следует отметить, что существующая в РФ система сбора данных по уровням облучения пациентов не позволяет (и не предусматривает) оценки органных (поглощенных) доз, включая МЖ, при проведении рентгенорадиологических исследований.

**Цель исследования** – оценка уровней облучения МЖ при проведении различных, в первую очередь рентгенографических, РЛИ в лучевой диагностике и разработка рекомендаций по дальнейшей стратегии и тактики радиационной защиты пациенток.

### Задачи исследования

1. Анализ современного риска ионизирующего излучения.
2. Изучение заболеваемости женщин раком МЖ.
3. Исследование использования методов РЛИ в лучевой диагностике, включая рентгенографию (и маммографию).
4. Определение доз облучения МЖ пациенток при проведении маммографии и других РЛИ.
5. Разработка рекомендаций по защите МЖ у женщин при проведении РЛИ.

### Материалы и методы

В настоящей работе изучены: радиационные риски ионизирующего излучения, заболеваемость населения, включая онкологическую, в том числе МЖ у женщин, объем РЛИ, в том числе рентгенологические процедуры (РЛП), а также дозы облучения пациентов.

Риски ионизирующего излучения рассмотрены на основе данных публикаций МКРЗ № 26 [3], № 60 [4] и № 103 [1]. Сведения по заболеваемости МЖ взяты из сборников «Здравоохранение в России» за последние годы [5]. Данные по количеству РЛИ получены на основе анализа форм статистического наблюдения №3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских диагностических рентгенорадиологических исследований» в РФ [2].

Собственные экспериментальные дозиметрические исследования проводились в 17 медицинских организациях Санкт-Петербурга. В работе исследовано 10 маммографов типа Alpha III ST (Финляндия), GIOTTO (Италия), Mammomat (Германия) и др. и 10 стационарных рентгенодиагностических аппаратов различных типов, включая OPERA, Сирескоп (Германия), РИМ (Италия) и др. На каждом аппарате проводился контроль эксплуатационных параметров, в ходе которого определялись режимы исследования, в том числе напряжение на рентгеновской трубке (кВ), экспозиция (мАс), размер поля облучения (см<sup>2</sup>), расстояние «источник – приемник излучения (см)», а на маммографах – компрессия МЖ.

Измерялся также радиационный выход рентгеновских аппаратов (мГр·м<sup>2</sup>)/(мА·с), на основании которого рассчитывались как органные (поглощенные) дозы МЖ, так и ЭД облучения пациенток по методике, приведенной в методических указаниях [6], а также по компьютерной программе РСХМС 2.0 [7].

### Результаты и обсуждение

#### 1. Анализ риска ионизирующего излучения

В 2007 г. МКРЗ пересмотрела связанный с облучением риск, как для раковых заболеваний (1), так для

Изменения рисков облучения человека ионизирующим излучением по данным МКРЗ

Таблица 1

[Table 1

#### Changes in the ICRP risks of human ionizing exposure]

Орган (ткань) [Organ (tissue)]	Рак [Cancer]	Риск облучения, Зв <sup>-1</sup> [risk irradiation, Sv <sup>-1</sup> ]		
		МКРЗ № 26 1977 г. [3] [ICRP № 26]	МКРЗ № 60 1990 г. [4] [ICRP № 60]	МКРЗ № 103 2007 г. [1] [ICRP № 103]
Гонады [Gonads]	Смерт.+несм. [lethal.+ nonlethal]	1,0·10 <sup>-2</sup>	1,50·10 <sup>-2</sup>	0,09·10 <sup>-2</sup>
ККМ* [red bone marrow]	Смерт.+несм. [lethal.+ nonlethal]	2,0·10 <sup>-3</sup>	10,4·10 <sup>-3</sup>	3,8·10 <sup>-3</sup>
Легкие [Lungs]	Смерт.+несм. [lethal.+ nonlethal]	2,0·10 <sup>-3</sup>	8,00·10 <sup>-3</sup>	11,3·10 <sup>-3</sup>
Молочная железа [Breast]	Смерт.+несм. [lethal.+ nonlethal]	2,5·10 <sup>-3</sup>	3,60·10 <sup>-3</sup>	6,3·10 <sup>-3</sup>
Щитовидная железа [Thyroid]	Смерт. [lethal.]	5,0·10 <sup>-4</sup>	1,50·10 <sup>-3</sup>	1,50·10 <sup>-3</sup>
	Смерт. [lethal.]	1,0·10 <sup>-2</sup>	5,0	
Всего [Total]	Смерт.+несм. [lethal.+ non lethal.]		6,0·10 <sup>-2</sup>	5,5·10 <sup>-2</sup>
	Наследств. [Hereditary]	1,0·10 <sup>-2</sup>	1,3·10 <sup>-2</sup>	0,2·10 <sup>-2</sup>
	Итого [Total]		7,3·10 <sup>-2</sup>	5,7·10 <sup>-2</sup>

\*красный костный мозг [red bone marrow].

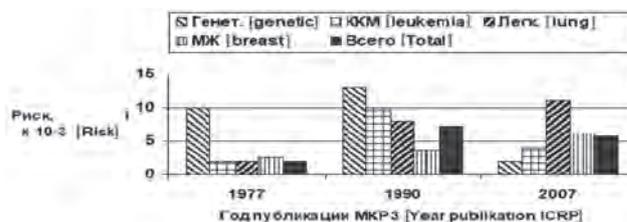
наследственных эффектов (2). Соответствующие коэффициенты номинального риска приняты: (1) – для населения –  $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-2}$  и  $4,1 \cdot 10^{-2}$  для персонала; (2) для населения –  $0,2 \cdot 10^{-2}$  и  $0,1 \cdot 10^{-1}$  – для персонала [1]. Как видно, по сравнению с предыдущими аналогичными оценками [2] наблюдается снижение вышеперечисленных показателей риска (табл. 1). Наиболее значительное снижение (в 6–8 раз) наблюдается в отношении генетических эффектов.

Но, как следует из приведенных данных, в оценке риска происходят разнонаправленные процессы. Так, среди радиочувствительных органов наибольшие изменения коснулись: увеличения риска для МЖ и легких и его снижения для красного костного мозга (ККМ) и гонад, что особенно важно для медицинского облучения.

Таким образом, можно констатировать, что генетические риски облучения первоначально были заведомо завышены и не отражали в полной мере реального воздействия ионизирующего излучения на организм, заведомо переоценивая его (рис. 1). В то же время отдельные соматические риски были недооценены. В настоящее время положение скорректировано.

Следует признать, что сведения о рисках облучения уточняются по мере накопления радиобиологических данных. Тем не менее, необходимо отметить, что в целом показатели индуцируемого риска соответствовали научным представлениям и имели позитивное значение, несмотря на то, что носили консервативный характер.

В этих условиях заслуживают внимания некоторые аспекты радиационной защиты и, в частности, МЖ при РЛИ, в которых она так или иначе попадает в поле излучения. Вначале рассмотрим облучение самой МЖ непосредственно при проведении маммографии, а в дальнейшем изучим ее облучение при других видах РЛИ и,



**Рис. 1.** Изменение представлений о риске облучения различных органов и тканей организма человека ( $1 \cdot 10^{-3} \text{ Зв}^{-1}$ ): наследственных (генетических) эффектах, лейкемии (ККМ), легких и МЖ [1, 4, 5]

**[Fig. 1.]** Change in the risk of the exposure of different organs and tissues of human body ( $1 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}^{-1}$ ): genetic effects, leukemia, lung and breast [1,4,5]

в частности, при наиболее массовом способе исследования – рентгенографии.

## 2. Изучение заболеваемости молочной железы

В общей структуре онкологической заболеваемости рак МЖ занимает первое место среди всех онкологических заболеваний у женщин (у мужчин на первом месте стоит рак легких) [2]. На долю рака МЖ приходится более 20% всех онкологических заболеваний у женщин (табл. 2). Число доброкачественных заболеваний МЖ в десятки раз превышает соответствующие онкологические показатели. Прогноз в отношении заболеваемости МЖ, так же, как и сама ее динамика, являются неблагоприятными (табл. 3). Об этом же свидетельствует и вся мировая практика [8, 9].

В этих условиях первостепенной проблемой здравоохранения является полномасштабное использование ранней диагностики или профилактики (скрининга) рака

## Структура онкологической заболеваемости населения РФ [2]

Таблица 2

### Structure of the cancer morbidity for Russian population [2]

[Table 2]

Локализация [Localization]	2010 г. [year]	2015 г. [year]	2010/ 2015 г. [year]
Всего заболеваний, на 100 тыс. чел. [Total diseases, per 100 thousand people]	361,8	402,6	0,90
В том числе легкие [lungs]	39,9	41,2	0,97
Молочная железа* [breast]	74,5	84,8	0,88
Желудок [stomach]	27,8	25,9	1,07
Поджелудочная железа [pancreas]	10,5	12,1	0,87
Прямая кишка [rectum]	17,9	19,8	0,90
Предстательная железа** [prostate]	39,8	57,2	0,70
Шейка матки* [cervix]	45,1	52,5	0,86
Печень [liver]	4,5	5,5	0,82
Пищевод [esophagus]	5,2	5,5	0,95
Мочевой пузырь [bladder]	9,6	10,9	0,88
Почки [kidney]	13,1	18,8	0,70
Лимфатическая и кроветворная ткань [lymph and hematopoietic tissue]	17,1	18,8	0,91

\* показатели рассчитаны на женское население [Indicators are calculated for the female population];

\*\* показатели рассчитаны на мужское население [Indicators are calculated for the male population].

Таблица 3

## Динамика общей и онкологической заболеваемости женщин за период 2010-2016 гг. [2]

[Table 3]

## Dynamic of the general and cancer women morbidity in 2010-2016 [2]

Показатель [Indicator]	2010 г. [year]	2011 г. [year]	2012 г. [year]	2013 г. [year]	2014 г. [year]	2015 г. [year]	2016 г. [year]
Общая заболеваемость, на 100 тыс. чел. [General morbidity, per 100 thousand people]	158.320	160.292	160.415	161.062	160.865	160.056	161.628
В том числе с диагнозом, установленным впервые в жизни [with a diagnosis, established for the first time in life]	78.004	79.687	79.390	79.941	78.711	77.816	78.533
Онкологическая заболеваемость, на 100 тыс. чел. [cancer morbidity, per 100 thousand people]	362	365	367	373	388	403	409
В том числе МЖ [including breast]	74,5	74,9	76,7	91,4	96,2	84,8	87,1

МЖ больших контингентов женщин старших возрастных групп, тем более что в настоящее время установлена четкая зависимость распространения данного заболевания от времени его диагностирования [10].

Приоритетным методом в диагностике рака МЖ является маммография. Роль данного метода особенно велика в диагностике непальпируемых опухолей, что является основной задачей диагностики и профилактики. Кроме того, она позволяет диагностировать другие патологические состояния МЖ: доброкачественные дисплазии, кисты, фиброаденозы и т.п.

Поэтому в условиях высокой радиочувствительности МЖ, с одной стороны, ее высокой заболеваемости, с другой, и возрастающим объемом скрининга рака МЖ, с третьей, следует предпринимать все возможные усилия по ее защите.

Исследование длительной динамики онкологической заболеваемости населения подтверждает вышесказанное (табл. 4). На протяжении нескольких десятилетий наблюдается постоянный рост как всех онкологических заболеваний, так и рака МЖ, причем за это время объемы заболеваний практически удвоились. Данный факт

еще раз подтверждает важность рассматриваемой проблемы.

Единственным способом снизить заболеваемость рака МЖ является проведение скрининга у женщин, который позволяет выявить заболевание на ранних стадиях развития, что с последующим своевременным хирургическим вмешательством способствует увеличению продолжительности жизни больной. Однако, кроме положительных моментов, скрининг имеет и отрицательные: в частности, увеличивает лучевое воздействие на теперь уже «радиочувствительную» МЖ.

## 3. Исследование маммографии

В настоящее время скрининг рака МЖ в России успешно функционирует. Об этом свидетельствуют высокие показатели частоты (число рентгенологических процедур – РЛП на 1000 женщин, ‰) обследований в последние годы, достигающие 190‰. Для сравнения, в 2000-е гг. данный показатель равнялся 5‰, а в зарубежных странах он был по сравнению с РФ высоким и составлял 43‰ (табл. 5). То есть в России наблюдается значительное (в десятки раз) увеличение маммографических обследований у женщин.

Таблица 4

## Долгосрочная динамика заболеваемости населения РФ [2]

[Table 4]

## Long-term dynamic of the public morbidity in the Russian Federation [2]

Показатель [Index]	1990 г. [year]	2000 г. [year]	2010 г. [year]	2015 г. [year]
Общая заболеваемость населения, на 100 тыс. чел. [General morbidity, per 100 thousand people]	107.021	131.440	158.320	160.056
В том числе установлена впервые в жизни [including diagnosis, established for the first time in life]	65.121	73.055	78.004	77.816
Включая онкологическую [including cancer morbidity]	264,4	307,7	361,8	402,6
Из них – у мужчин [for men]	284,4	316,8	360,4	398,1
Из них – у женщин [for women]	246,8	299,6	363,1	406,4
В том числе МЖ [including breast]	39,5	57,7	74,5	84,8

Таблица 5  
[Table 5]

**Долгосрочная динамика количества рентгенологических процедур и маммографических исследований в РФ и в мире**  
**Long-term dynamics of X-ray and mammography examinations in the Russian Federation and in the world]**

Регион [Region]	Показатель [Index]	1990 г. [year]	2000 г. [year]	2010 г. [year]	2017 г. [year]
Россия* [Russia]	Число РЛП, ‰ [Number of X-ray procedures]	1260	1180	1530	1910
	В том числе маммография [including mammography]	3,2	5,2	91	190
	Вклад маммографии, ‰ [contribution of mammography %]	0,25	0,4	5,8	9,9
В мире** [In the world]	Число РЛП, ‰ [Number of X-ray procedures]	1240	1700	1950*	–
	В том числе маммография [including mammography]	14	30	43	–
	Вклад маммографии, ‰ [contribution of mammography, %]	1,1	1,8	2,2	–

\* [3]

\*\*Экономически развитые страны в 1997–2007 гг. [8, 9] [\*\*economically developed countries 1997-2007 [8, 9]].

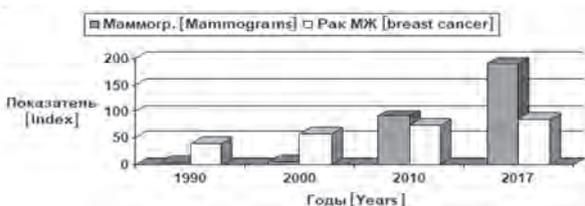
Следствием вышесказанного является высокий уровень выявляемости заболеваний раком МЖ, о чем свидетельствует увеличение таких заболеваний в РФ за последние 5 лет всего на 12% (рис. 2) [2].

Следует отметить, что уровень маммографии обусловлен количеством и качеством профессионально подготовленных специалистов и современного оборудования. От их наличия и состояния во многом зависит эффективность проводимой диагностики, а также уровень облучения пациентов и населения. Поэтому обеспечение специалистов соответствующей информацией по радиационному фактору является приоритетной задачей.

а (a)



б (b)



**Рис. 2.** Долгосрочная динамика: а) общей заболеваемости населения (на 100 тыс. чел.)  $10^{-4}$  и числа РЛП (на 1 тыс. чел.)  $10^{-2}$ ; б) рака МЖ у женщин (на 100 тыс. жен.) и числа маммографий (на 1 тыс. жен.)

[Fig. 2. Long-term dynamic: a) general morbidity of the population (per 100 thousand people)  $10^{-4}$  and frequency of X-ray procedures (per 1 thousand people)  $10^{-2}$ ; b) breast cancer in the women (per 100 thousand women) and number of mammograms (per 1 thousand women)]

В последние годы спектр методов исследования МЖ значительно расширился, в основном за счет ультразвуковых исследований (УЗИ). Появились также принципиально новые томографические методы и, в частности, компьютерная и магнитно-резонансная томографии. Стала шире использоваться радионуклидная диагностика.

Вышесказанное свидетельствует о качественном изменении деятельности отечественной рентгенологии в области диагностики МЖ в последнее время. Значимые изменения в отношении объемов проведения диагностических и особенно профилактических исследований МЖ в России за этот период на фоне высокой онкологической заболеваемости женщин от рака данной локализации свидетельствуют о большом внимании к данной проблеме и стремлении ее решить (табл. 6).

В этих условиях рентгеновский метод (маммография) по-прежнему остается главенствующим при диагностике и профилактике МЖ. Свидетельством тому является тот факт, что число проводимых маммографий в последнее время составило около 25 млн в год, в то время как УЗИ – всего 3 млн. Коллективная ЭД облучения женщин при проведении маммографии за 2010–2017 гг. увеличилась в 2 раза (см. табл. 6). Данные аспекты также свидетельствуют о необходимости совершенствования методов радиационной защиты, включая контроль качества.

#### 4. Определение дозы облучения молочной железы при маммографии

В плане вышесказанного предстояло, в первую очередь, определить уровень медицинского облучения при использовании маммографии. Соответствующие значения доз облучения МЖ, полученные нами при обследовании пациенток данным методом (в разных проекциях), приведены в таблице 7. Из представленных данных видно, что средняя органная поглощенная доза облучения МЖ при проведении одного снимка составляет около 1 миллигррея (0,96 мГр). Аналогичная доза за полное исследование, состоящее из 4 снимков (по 2 на каждую железу

Таблица 6

**Динамика числа рентгенологических исследований и дозы облучения пациентов за последние годы по данным ЕСКИД [5]**

[Table 6]

**Dynamics of X-ray examinations and patient doses in last years, according to ESKID [5]**

Показатель [Index]	2010 г. [year]	2011 г. [year]	2012 г. [year]	2013 г. [year]	2014 г. [year]	2015 г. [year]	2016 г. [year]	2017 г. [year]	2018 г. [year]
Число РЛП, на 1000 чел. (‰) [Number of X-ray procedures per 1000 people]	1575	1660	1680	1750	1650	1860	1870	1910	1900
В том числе маммография [including mammography]	91,1 (46,6)*	98,0 (51,2)	117 (63,1)	151 (91,5)	147 (164)	172 (107)	176 (112)	138 (124)	190 (125)
Коллективная ЭД, тыс. чел.-Зв [Collective effective dose, thousand man-Sv]	78,7	81,4	77,6	63,5	66,0	68,4	72,1	77,0	79,6
В том числе маммография [including mammography]	1,17	1,22	1,42	1,78	1,89	2,00	1,31	1,59	2,07
Средняя индивидуальная доза, мЗв/проц. [Average individual dose, mSv/proc.]	0,27	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27	0,28	0,30	0,31
В том числе маммография [including mammography]	0,08	0,08	0,08	0,12	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07

\* В скобках – скрининг [in brackets – from screening].

Таблица 7

**Средние дозы облучения молочной железы у женщин при проведении маммографии \***

[Table 7]

**Average breast doses in mammography \***

Размер МЖ, см <sup>1</sup> [Breast size, cm <sup>1</sup> ]	Проекция [Projection]	Органная доза МЖ, мГр [Breast dose, mGy]		ЭД за процедуру/исследование, мЗв [Effective dose per procedure/ /examination, mSv]	
		За 1 процедуру [for 1 X-ray procedure]	За 1 исследование [for 1 examination]	МКРЗ №60 [2] [ICRP №60]	МКРЗ №103 [1] [ICRP №103]
2	Прямая [frontal]	0,76±0,25	1,52	0,04±0,01/0,08	0,10/0,20
	Косая [axial]	0,86±0,25	1,72	0,04±0,01/0,08	0,10/0,20
	Всего [total]	1,62	3,24	0,07/0,14	0,17/0,34
4	Прямая [frontal]	0,78±0,25	1,56	0,04±0,01/0,08	0,10/0,20
	Косая [axial]	0,87±0,28	1,74	0,04±0,01/0,08	0,10/0,20
	Всего [total]	1,65	3,30	0,08/0,16	0,19/0,38
6	Прямая [frontal]	1,02±0,30	2,04	0,05±0,02/0,10	0,12/0,24
	Косая [axial]	1,02±0,36	2,04	0,05±0,02/0,10	0,12/0,24
	Всего [total]	2,04	4,08	0,10/0,20	0,24/0,48
8	Прямая [frontal]	1,20±0,42	2,40	0,07±0,03/0,14	0,17/0,34
	Косая [axial]	1,47±0,47	1,94	0,07±0,04/0,14	0,17/0,34
	Всего [total]	2,67	5,34	0,14/0,28	0,34/0,68
В среднем [Average]	Прямая [frontal]	0,88	1,76	0,05/0,10	0,12/0,24
	Косая [axial]	1,04	2,08	0,05/0,10	0,12/0,24
	Всего [total]	1,92	3,84	0,10/0,20	0,24/0,48

\*СПб, 2017 г., <sup>1</sup>толщина компрессии [\*Saint Petersburg, 2017, <sup>1</sup>thickness of compression].

в 2 проекциях), равняется 3,84 мГр. ЭД за исследование по [4] равняется 0,20 мЗв, а если применить взвешивающие тканевые коэффициенты из [1], то ЭД увеличивается до 0,48 мЗв. Это вполне существенная доза, соизмеримая по лучевой нагрузке, например, с обследованием грудных позвонков, учитывая еще и то обстоятельство, что облучение МЖ проводится при низком напряжении [6, 11]. Принципиальных различий в дозе между цифровыми и современными аналоговыми маммографами нами не выявлено.

Помимо собственных исследований, были проанализированы данные по числу маммографий и дозам облучения МЖ при проведении маммографии, полученные в форме статистического наблюдения 3-ДОЗ за 2017 г. для РФ. Соответствующие сведения приведены в таблице 8.

Как видно, в настоящее время объем маммографии в России составляет 28 тыс. РЛП (190 ‰). Более половины проводимых РЛП (65%) являются профилактическими. Соотношение пленочных и цифровых аппаратов составляет 2:1. Средняя ЭД в РФ за процедуру равняется 0,08 мЗв. Имеется незначительная разница между пленочным и цифровым методами – 0,09 мЗв и 0,06 мЗв соответственно. Различия в дозе в РФ по сравнению с Санкт-Петербургом, видимо, объясняются разнообразием используемой аппаратуры и большим сроком ее эксплуатации. В целом, данные и Санкт-Петербурга, и РФ подтверждают имеющийся относительно невысокий уровень облучения пациенток при маммографии.

#### 5. Определение дозы облучения молочной железы при различных рентгенологических исследованиях

Максимально МЖ облучается при ее нахождении в прямом пучке излучения при разных видах исследования (рентгенография, рентгеноскопия, компьютерная томография и др.). Нас в первую очередь интересуют рент-

генографические процедуры (рентгеновские снимки), поскольку именно при них возможно, в первую очередь, обеспечить радиационную защиту пациенток в плане оптимизации уровня облучения. Изучение прочих видов исследования должно составить предмет дальнейшей работы.

Оказалось, что маммография составляет около 10% от всех проводимых РЛИ в рентгенодиагностике и при этом обуславливает 2,5% от всей коллективной ЭД облучения населения в настоящее время (см. табл. 6). Среди различных РЛИ, сопровождающихся облучением МЖ, помимо маммографии, основными являются исследования костей скелета (в основном позвоночника), различные виды исследования легких (рентгеноскопия, рентгенография и флюорография), а также исследования брюшной полости.

При облучении МЖ следует иметь в виду, что по своему месту расположения она занимает очень невыгодное с точки зрения дозоформирования положение – находится почти в центре туловища человека в проекции легких, то есть в той его части, на которую приходится большинство исследований лучевой диагностики и закрыть (защитить) которую не всегда представляется возможным.

Действительно при большинстве РЛИ МЖ попадает либо в прямой пучок излучения (исследования позвоночника, ребер и других костей скелета в прямой, а также в боковых проекциях), либо в рассеянное излучение (экранируются другими органами, например, легкими при исследовании органов грудной клетки). Таким образом, МЖ подвергается облучению во многих случаях.

Поскольку МЖ в той или иной степени облучается не только при маммографии, но и при других РЛИ, представляло интерес определить дозы ее облучения в данных ситуациях. Для этого прежде всего были необходимы сведения о подобных исследованиях. Соответствующая информация была получена и представлена в виде чис-

Дозы облучения женщин при проведении маммографии по данным официальной статистики\*

Таблица 8

Effective doses from mammography, based on the official statistical data \*

[Table 8

Показатель [Indicator]	Аналоговый метод [Analogue X-ray units]			Цифровые аппараты [Digital X-ray units]			Всего [Total]		
	Диагностика [Diagnostics]	Скрининг [Screening]	Всего [Total]	Диагностика [Diagnostics]	Скрининг [Screening]	Всего [Total]	Диагностика [Diagnostics]	Скрининг [Screening]	Всего [Total]
Число РЛП, тыс. шт. [The number of X-ray procedures, thousand]	5454	12 588	18 042	4431	5658	10 089	9885	18 246	28 131
Коллективная доза, чел.-Зв [Effective collective dose, man-Sv]	476	1115	1591	322	299	621	798	1414	2212
Средняя индивидуальная доза, мЗв/проц. [Average individual dose, mSv / proc.]	0,08	0,09	0,09	0,07	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08

\* Форма 3-ДОЗ РФ за 2017 г.; <sup>1</sup>коллективная доза; <sup>2</sup>средняя индивидуальная доза за процедуру [Form 3-DOS of the Russian Federation for 2017; <sup>1</sup>collective dose; <sup>2</sup>average individual dose per procedure].

ленных значений в таблице 9. В первую очередь нас интересовали рентгенографические РЛП, поскольку они составляют большинство РЛИ и именно при них возможно, во-первых, использовать физическую защиту для МЖ в виде применения рентгенозащитных фартуков или изделий из рентгенозащитной резины, и во-вторых, здесь в первую очередь возможна оптимизация облучения с целью снижения уровня облучения МЖ.

Как видно из представленных данных, вклад рентгеновских снимков среди всех РЛП действительно в РФ в 2017 г. составил 67,3%, то есть большинство [3]. Поскольку речь идет об облучении женщин, то целесообразно рассматривать статистику по отношению именно к данной категории населения, а вклад женщин в объем РЛП примерно равен мужскому и составляет: для исследований легких – 41,2%; костей скелета – 50,4%; органов брюшной полости – 58,1%; почек – 56,0% среди исследований данной

локализации [12]. На основании данных о количестве РЛП и РЛИ, а также с учетом ранее полученной информации [13] была составлена структура РЛП с учетом использования различных проекций (см. табл. 9).

Данный подход позволил определить средние органические дозы МЖ и ЭД облучения у женщин. Соответствующие сведения приведены в таблице 10. Из представленных данных видно, что средняя органическая доза МЖ, индуцируемая от всех рентгенографических процедур, составляет: в прямой проекции – 1,57 мГр (в диапазоне от 0,20 мГр до 3,31 мГр для разных локализаций исследований) и в боковой – 2,91 мГр (в диапазоне от 0,51 мГр до 9,29 мГр).

Как видно, дозы в боковой проекции почти в два раза выше, чем в прямой. Для сравнения, аналогичные величины доз для маммографии составляют 0,88 мГр и 1,04 мГр соответственно. То есть органические дозы МЖ от различных РЛИ значительно выше, чем при маммографии: в пря-

Таблица 9  
Число рентгенологических исследований, сопровождающихся облучением молочной железы у женщин\*

[Table 9]

Data on the X-ray examinations, associated with the exposure of breast\*

Органы и части тела [Organ and body parts]	Количество всех РЛИ в лучевой диагностике, тыс. шт. (частота РЛИ, %) [The number of all examinations in diagnostic radiology, thousand (frequency of X-ray exam., %)]	Количество всех РЛП, тыс. шт. (частота РЛП, %) [The number of all X-ray procedures, thousand (frequency of procedures, %)]	Количество рентгенографий, тыс. шт. (частота рентгенографий, %)¹ [Number of radiography, thousand. (frequency of radiography, %)¹]		Сочетание проекций рентгенографий [Combination projections radiography]
			Всего [Total]	У женщин [Among women]	
Легкие [Lung]	102,371 (697)	123,598 (842)	120,019 (818)	49,447² (628)	0,55 ЗП³+ 0,45 Б⁴
Череп [Skull]	12,816 (87)	16,450 (112)	12,284 (84)	6,191 (78)	0,55 ПЗ⁴/ ЗП+0,45 Б
Шейный отдел позвоночника [Cervical spine]	3,606 (25)	6,696 (45)	6,436 (44)	3,243 (41)	0,56 ЗП+0,44 Б
Маммография [Mammography]	9,703 (66)	28,130 (192)	28,131 (191)	28,131 (191)	0,50 П⁶+0,50 К⁷
Грудной отдел позвоночника [Thoracic spine]	2,493 (17)	4,417 (30)	4,137 (128)	2,085 (26)	0,60 ПЗ+0,40 Б
Ребра, грудина [Ribs, Sternum]	1,641 (11)	2,070 (14)	2,060 (14)	1,038 (13)	1,0 ПЗ
Брюшная полость [Abdomen]	3,041 (21)	3,817 (26)	2,075⁸	1,205 (14)	1,0 ЗП
Поясничный отдел позвоночника [Lumbar spine]	4,675 (32)	8,112 (55)	5,938 (40)	2,992 (38)	0,80 ПЗ + 0,20 Б
Таз, крестец [Pelvis, sacrum]	3,816 (26)	5,024 (34)	4,530 (31)	2,283 (29)	0,84 ПЗ + 0,16 Б
Урография [Urography]	2,022⁹	3,625 (25)	3,083 (31)	1,726 (22)	1,0 ЗП
ВСЕГО [Total]	146,184 (996)	201,939 (1375)	188,693 (1285)	92,460 (1173)	–
Все РЛП/РЛИ⁸ [All X-ray procedures / examinations]	199,272 (1357)	280,073 (1908)	266,542 (1816)	130,605 (1657)	–

\*Форма 3-ДОЗ РФ 2017 г.; ¹число РЛП на 1000 человек; ²среди женщин; ³ЗП: заднее-передняя проекция; ⁴Б: боковая проекция; ⁵ПЗ: передне-задняя проекция; ⁶П: прямая проекция; ⁷К: косая проекция; ⁸все РЛП включают конечности; ⁹СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».

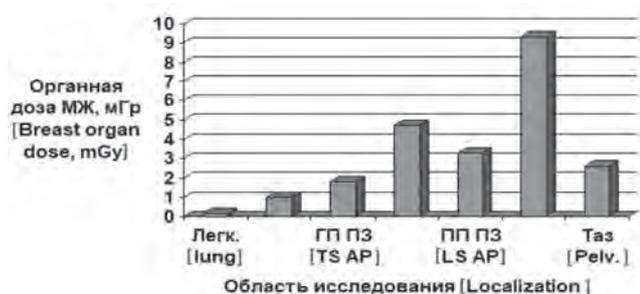
[\*statistic № 3-DOS Russia, 2017; ¹the number of X-ray per 1000 man; ²among women; ³PA projection; ⁴lateral projection; ⁵AP projection; ⁶frontal projection; ⁷axial projection; ⁸all X-ray include limbs; ⁹Sanitary rule 2.6.1.2523-09 «Standard of radiation safety SRS-99/2009»].

Таблица 10  
[Table 10]Средние organные дозы облучения молочной железы и эффективные дозы у женщин при проведении рентгенографических процедур\*  
Average breast organ doses and effective doses for women from radiography\*

Вид Исследования [Examination]	Органная доза МЖ, мГр [Breast organ dose, mGy]				Средняя эффективная доза (ЭД), мЗв [Average effective dose (E), mSv]					
	Коллективная органная доза МЖ <sup>1</sup> , тыс. чел.-Гр**		МКРЗ № 60 [ICRP №60]		МКРЗ № 103 [ICRP №103]					
	Передне- задняя проек- ция [AP projection]	Боковая проекция [Lat projection]	В сред- нем [aver- age]	В сред- нем [average]	Передне- задняя проекция [AP projection]	Боковая проекция [Lat projection]	В среднем [average]	Коллективная ЭД <sup>1</sup> , тыс. чел.-Зв** [Collective E, thousand man-Sv]		
Легкие <sup>2</sup> [Lung]	0,20±0,06 <sup>2</sup>	0,80±0,31	0,47	0,05	0,03±0,01	0,07±0,01	0,05±0,01	0,08±0,02	0,06	3,0 (26,1)
Череп [Skull]	1,09±0,44	0,51±0,41	0,83	0,02	0,02±0,01	0,02±0,01	0,04±0,01	0,04±0,02	0,04	0,3 (2,6)
Шейный отдел позвоночника [Cervical Spine]	0,68±0,27 <sup>2</sup>	1,07±0,40	0,85	0,03	0,01±0,004	0,05±0,01	0,02±0,006	0,05±0,02	0,03	0,1 (0,9)
Маммография [Mammography]	0,88±0,31 <sup>3</sup>	1,04±0,34 <sup>4</sup>	0,96	0,05	0,05±0,02	0,05±0,02	0,12±0,05	0,12±0,05	0,12	3,4 (29,6)
Грудной отдел позвоночника [Thoracic spine]	1,81±0,50	4,73±1,57	2,98	0,35	0,44±0,22	0,21±0,08	0,49±0,25	0,25±0,09	0,40	0,8 (7,0)
Ребра, грудина [Ribs, sternum]	0,98±0,31	-	0,98	0,12	0,12±0,04	-	0,15±0,06	-	0,12	0,1 (0,94)
Брюшная полость [Abdomen]	2,12±0,81 <sup>2</sup>	-	2,12	0,40	0,40±0,17	-	0,40±0,18	-	0,40	0,5 (4,3)
Поясничный отдел позвоночника [Lumbar spine]	3,31±0,85	9,29±2,61	4,57	0,64	0,67±0,19	0,53±0,13	0,65±0,19	0,48±0,12	0,61	1,8 (15,7)
Таз, крестец [Pelvis, sacrum]	2,63±0,76	-	2,63	0,81	0,81±0,25	-	0,52±0,165	-	0,52	1,2 (10,4)
Урография [Urography]	2,03±1,09 <sup>2</sup>	-	2,03	0,23	0,23±0,13	-	0,20±0,11	-	0,20	0,3 (2,6)
В среднем/ ВСЕГО,% [Average/ TOTAL,%]	1,57	2,91	1,84	0,27	0,28	0,16	0,26	0,17	0,25	11,5 (100)

\*Форма 3-Доз РФ 2017 г.; \*\* в скобках – вклад в коллективную дозу, %; <sup>1</sup> среди женщин; <sup>2</sup> задне-передняя проекция; <sup>3</sup> прямая проекция; <sup>4</sup> косая проекция [\*statistics № 3-DOS Russia, 2017; \*\* in brackets – contribution to the collective dose, %; <sup>1</sup> among women; <sup>2</sup> PA projection; <sup>3</sup> frontal projection; <sup>4</sup> axial projection].

мой проекции в среднем в 2 раза (до 3 раз), в боковой – в 3 раза (до 9 раз) (рис. 3).



**Рис. 3.** Органная доза облучения МЖ у женщин при проведении РЛИ: легких, маммографии, грудных позвонков в передней (ГП ПЗ) и боковой (ГП Б) проекциях, поясничных позвонков в передней (ПП ПЗ) и боковой (ПП Б) проекциях, костей таза

**[Fig. 3.** Breast organ doses during X-ray: lung, mammography, thoracic spine in anterior (AP) and lateral (L) projections, lumbar spine in anterior (AP) and lateral (L) projections, pelvis]

Наибольшие дозы на МЖ наблюдаются при исследовании грудного (в среднем 2,98 мЗв) и поясничного (в среднем 4,57 мЗв) отделов позвоночника, особенно в боковой проекции – 4,73 мЗв и 9,29 мЗв соответственно. Высокие дозы наблюдаются также при снимках брюшной полости (2,12 мЗв) и таза (2,63 мЗв) и даже при исследовании почек (2,03 мЗв). В целом, высокие значения доз объясняются повышенными параметрами исследования и, в частности, экспозиции и размера поля.

Облучение МЖ у женщин характеризуется коллективной поглощенной дозой, равной 93 тыс. чел.-Гр. При этом по одной ее трети приходится на маммографию, исследования легких, а также позвоночника. Следует отметить, что высокие коллективные дозы облучения МЖ при РЛИ легких объясняются большим количеством проводимых здесь РЛП.

Смена ориентиров радиационной безопасности с учетом современных радиобиологических сведений о рисках облучения населения ионизирующим излучением с использования публикации № 60 на № 103 МКРЗ в плане медицинского облучения, как видно из данных таблицы 10, в одних случаях будет способствовать снижению средней ЭД облучения пациентов, а в других – их увеличению. Это будет происходить, в частности, благодаря разнонаправленным изменениям радиобиологических показателей (см. п. 1).

В частности, изменение ЭД при замене взвешивающих тканевых коэффициентов с публикации МКРЗ № 60 на № 103 будет сопровождаться увеличением дозы для органов, расположенных в верхней части туловища, – легких и МЖ из-за увеличения риска их облучения и одновременно снижения ЭД для органов, расположенных в нижней части туловища, – поясничных позвонков, таза, и др. из-за уменьшения риска облучения ККМ.

В рассматриваемых нами случаях доза облучения МЖ, в первую очередь, зависит от условий проведения РЛП и, в частности, от параметров исследования, среди которых основными являются: напряжение на рентгеновской трубке, экспозиция и размер поля облучения. Поэтому

в плане радиационной защиты пациенток следует оптимизировать именно эти показатели. Исследования показывают, например, что уменьшение размера поля облучения при исследовании грудного отдела позвоночника до 15×40 см, а также использование низкой экспозиции (10 мАс) позволяет значительно снизить органную дозу на МЖ до 0,20 мГр против 3,75 мГр (в 19 раз!) при поле 30×40 см и экспозиции 60 мАс.

Практическую реализацию защиты МЖ можно также осуществить, закрыв их рентгенозащитной резиной (или изделием из нее) во время проведения РЛИ в той или иной проекции (особенно в боковой), не закрывая при этом область исследования. Более того, оказалось, что МЖ также следует закрывать при исследовании нижней части туловища и, в частности, при исследовании органов брюшной полости и таза.

### Заключение

Причина, по которой авторы взялись за данное исследование, вполне логична, поскольку, как было показано выше, ситуация с онкологической заболеваемостью вообще и МЖ в частности ухудшается, и соответственно, ее рентгенодиагностическое обеспечение сопровождается постоянным и значимым увеличением лучевой нагрузки, особенно в последнее время, а увеличение радиочувствительности МЖ является свершившимся фактом. Поэтому и было принято решение исследовать данный вопрос, акцентируя внимание на его радиационно-гигиеническом аспекте. При этом важность проблемы заключается в поиске путей скорейшего ее решения.

В ходе исследования было показано, что рак МЖ у женщин занимает первое место среди всех онкологических заболеваний и постоянно растет. В этом аспекте проводится его профилактика, сопровождающаяся облучением МЖ. В то же время, согласно данным публикации № 103 МКРЗ, МЖ впервые была отнесена к наиболее радиочувствительным органам [1], то есть при облучении она подвергается максимальному риску, наряду с ККМ, легкими, толстым кишечником и желудком. Это означает, что в медицинской рентгеновской диагностике МЖ в первую очередь нуждается в радиационной защите (как ранее гонады, которые тем же документом отнесены к менее радиочувствительным органам). То есть, с одной стороны мы должны широко использовать рентгеновское излучение для диагностики и профилактики заболеваний МЖ, а с другой – должны ее защищать.

На первый взгляд, наблюдается неразрешимая ситуация, но давайте посмотрим на нее с практической точки зрения. Маммография не страшна, поскольку она сопровождается незначительной (для исследований, связанных с онкологическими заболеваниями) дозой облучения, а при исследовании скелета и других органов нужно просто оптимизировать уровень облучения МЖ, прежде всего, по возможности, закрывать ее рентгенозащитным фартуком, в первую очередь в боковой проекции. До настоящего времени такой постановки вопроса не существовало, поскольку МЖ не относилась к наиболее радиочувствительным органам [14].

В результате исследований было определено, что МЖ, находясь практически в центре туловища женщины, при большинстве РЛИ попадает либо в прямой пучок излучения (исследования костей скелета), либо в рассеянное излучение при экранировании туловищем, на-

пример, в исследованиях органов грудной клетки. Во всех случаях МЖ в той или иной степени подвергается облучению. Среди различных локализаций обследования пациенток и облучения МЖ можно выделить основные: исследования скелета (в основном позвоночника), различные виды исследования легких (рентгенография, флюорография и др.), а также исследования брюшной полости.

Максимальное облучение МЖ получает при нахождении ее в прямом пучке излучения. Наши исследования показали, что средняя органная доза на МЖ при рентгенографии составляет 1,84 мГр, обуславливая дозу в передне-задней проекции 1,57 мГр и в боковой 2,91 мГр. Это намного выше, чем при маммографии, – 0,96 мГр, 0,88 мГр и 1,04 мГр соответственно. Максимальные дозы наблюдаются при исследовании грудного (4,73 мГр) и особенно поясничного отделов (9,29 мГр) позвоночника, выполненных в боковой проекции. Существенны также дозы на брюшную полость (2,12 мГр), почки (2,03 мГр) и таз (2,63 мГр) в прямой проекции.

Данный факт свидетельствует о существенном уровне облучения МЖ в результате прямого облучения при проведении различных РЛИ, в том числе органов нижней части туловища человека. Основной причиной здесь, видимо, является использование неоптимальных параметров исследования и, в первую очередь, высоких значений экспозиции и поля облучения.

Следует учитывать и снижать также дозы, полученные при исследовании органов верхней части туловища, в частности, легких. В первую очередь это стоит делать в прямом пучке в боковой проекции. Именно здесь МЖ нужно закрывать, но защищать необходимо и в рассеянном излучении, например, с помощью оптимизации условий облучения.

Нужно понимать, что аналогичные дозы на МЖ при специальных РЛИ, таких как компьютерная томография и интервенционные исследования, будут существенно выше, чем в рассматриваемых случаях, что, во-первых, требует использования здесь методов обоснования и оптимизации, а во-вторых, данный вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Вышесказанное свидетельствует о необходимости защиты МЖ по мере возможности при проведении РЛИ, включая исследования костей скелета и органов брюшной полости, дозы при которых сами по себе являются весьма существенными (для грудных позвонков средняя ЭД равняется 0,40 мЗв, для поясничных позвонков – около 0,70 мЗв за процедуру, для брюшной полости – 0,40 мЗв).

Как видно, для защиты МЖ, в первую очередь, необходимы типичные меры радиационной защиты пациенток, в том числе оптимизация, включая использование физической защиты, например, в виде разнообразных по форме рентгенозащитных материалов. Как было показано, физическая защита возможна, в первую очередь, при использовании боковых проекций при различных РЛИ.

Следует отметить, что пожизненный атрибутивный радиационный риск смертности женщин старше 35 лет от рака МЖ при проведении маммографии составляет  $6,4 \cdot 10^{-6}$  отн. ед. и находится в области пренебрежимого риска –  $< 10^{-6}$  (менее 1 случая на миллион человек) [14]. Увеличение органной дозы МЖ на порядок величины при проведении различных РЛИ, как было показано в прове-

денных исследованиях, способствует повышению значений пожизненного риска в 10 раз, и он перемещается в область минимального риска –  $10^{-6}$ – $10^{-5}$  (от 1 до 10 случаев на миллион человек), что еще раз подтверждает необходимость радиационной защиты МЖ пациенток в рентгенодиагностике.

### Выводы

1. Среди различных онкологических заболеваний рак молочной железы у женщин занимает первое место (составляя 85 на 100 тыс. чел.) и постоянно увеличивается (за 10 лет в 2 раза), намного опережая другие локализации. В этих условиях объем маммографии у женщин за 10 лет увеличился в 2 раза (профилактических в 3 раза) и достиг значения 190%, при этом размеры скрининга составляют 65,6%.

2. Средняя органная доза облучения молочной железы при маммографии составляет: за один снимок – 0,88 мГр, профилактическое исследование – 1,76 мГр, диагностическое исследование – 1,92 мГр. Средняя эффективная доза равна: за снимок – 0,05 мЗв, профилактику – 0,10 мЗв, диагностику – 0,20 мЗв. Коллективная эффективная доза за последние 7 лет выросла в 2 раза.

3. По современным радиобиологическим представлениям [1], риск облучения молочной железы увеличивается в 1,75 раза по сравнению с используемым в отечественной практике. С учетом новых взвешивающих тканевых коэффициентов, эффективная доза увеличивается в 2,4 раза и достигает значения: за снимок – 0,12 мЗв, профилактику – 0,24 мЗв, диагностику – 0,48 мЗв.

4. Коллективная органная доза от маммографии равняется 27 тыс. чел.-Гр, что составляет 30% дозы от всех рентгенографических процедур. Коллективная эффективная доза от маммографии равна 1,4 тыс. чел.-Зв (15% от всей дозы). Коллективная эффективная доза молочной железы, с учетом увеличения взвешенных тканевых коэффициентов, будет равна 3,4 тыс. чел.-Зв, что составит 30% от всей дозы.

5. Существенное облучение молочной железы обуславливают рентгенографические процедуры: средняя органная доза на МЖ за один снимок составляет 1,84 мГр, обуславливая дозу в передне-задней проекции 1,57 мГр и в боковой 2,91 мГр. Максимальные дозы наблюдаются при исследовании грудного (4,73 мГр) и особенно поясничного отделов (9,29 мГр) позвоночника, выполненных в боковой проекции. Существенны также дозы при снимках брюшной полости (2,12 мГр), почек (2,03 мГр) и таза (2,63 мГр) в прямой проекции. Коллективная органная доза молочной железы от рентгеновских снимков (без учета маммографии) равна 65,9 тыс. чел.-Гр (70% от всех рентгенографических процедур),

6. В условиях высокой заболеваемости МЖ и большого количества маммографий, с одной стороны, ее повышенной радиочувствительности и существенных доз при различных рентгенологических процедурах – с другой, необходимы дополнительные меры радиационной защиты молочной железы у женщин при проведении рентгенологических исследований, отсутствующие в настоящее время, и, в частности, оптимизация дозы и контроль качества. Следует по возможности закрывать молочную железу рентгенозащитной резиной или изделием из нее, в первую очередь – в боковых проекциях.

## Литература

1. МКРЗ. Рекомендации 2007 г. Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ. М.: Изд-во ООО ПКФ «Алана», 2009. 312 с.
2. Форма статистического наблюдения №3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских диагностических рентгенорадиологических исследований в РФ за 2017г.» Утв. №411 Росстатом.
3. МКРЗ. Радиационная защита. Публикация 26 МКРЗ. Международная комиссия по радиологической защите. М.: Атомиздат, 1978. 87 с.
4. МКРЗ. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. М, Энергоатомиздат, 1994. 192 с.
5. Здравоохранение в России. 2017: Стат. сб. Росстат. М., 2017. 170 с.
6. Методические указания МУ 2.6.1.2944-11 Контроль доз облучения у пациентов при проведении рентгенодиагностических медицинских исследований.
7. Tapiovaara M., Lakkisto M., Servomaa A. PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139, 2nd Edition. Helsinki, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 2008.
8. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I, Annex B. -New York, UN, 2000.
9. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I, Annex A. – New York, UN, 2010.
10. Белавина Е.А. Организационно-методическое обеспечение лучевой диагностики и профилактики рака молочной железы у женщин в Санкт-Петербурге: автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб, 2006. 22 с.
11. Balonov M., Golikov V., Zvonova I., et al. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009-2015 // J. Radiol. Prot. 2018. Vol. 38. P. 121–139. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9b99>
12. Власова М.М. Научное обоснование организации службы лучевой диагностики и лучевой терапии в условиях отдельного региона в период реорганизации здравоохранения: автореф. дис. ... докт. мед. наук. СПб., 2001. 37 с.
13. Никитин В.В., Ермаков И.А., Жербин Е.А. и др. Оценка популяционных доз от рентгенодиагностических процедур в СССР (1970-1980 гг.). М.: ЦНИИатоминформ. 1986. -25с.
14. Методические рекомендации МР 2.6.1.0098-15. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. 42 с.

Поступила: 24.10.2019 г.

**Кальницкий Сергей Анатольевич** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101 Россия. г. Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: s.kalnitsky@niirg.ru

**Ладанова Евгения Романовна** – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Кальницкий С.А., Ладанова Е.Р. Риск, уровни облучения и меры радиационной защиты молочной железы у женщин при проведении рентгенографических процедур // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 110–122. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-110-122

## Exposure of the breast, corresponding radiation risks and radiation protection for women, undergoing conventional X-ray examinations

Sergey A. Kalnitsky, Evgenia R. Ladanova

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

*The purpose of this work is to investigate radiation protection of the female breast in different X-ray examinations, including radiography. It is actual, because Publication ICRP №103 takes female breast to*

**Sergey A. Kalnitsky**

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

**Address for correspondence:** Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: s.kalnitsky@niirg.ru

*maximum irradiating organs. Analysed: risk of ionizing radiation, FB cancer, volume and dynamics X-ray examinations, female breast organ dose and effective dose. In conformity with data of Publication ICRP №103, effective dose of patients at mammography increased in 2,4 time and reach 0,48 mSv for examination as compared with 0,20 mSv with data of Publication ICRP №60. It is shown, that among different cancer, female breast cancer takes first place and constancy increased. Quantity of mammograms for 10 years increased in 2 time and collective dose increased in 2 times at last 7 years. Female breast average organ dose in mammography is 0,96 mGy and effective dose 0,05 mSv. It is only a part of summary irradiation from all X-ray examinations. The average mean value female breast organ dose of all radiography is 1,84 mGy (anterio-posterior projection – 1,57 mGy, lateral – 2,91 mGy) and effective dose – 0,25 mSv (anterio-posterior – 0,26 mSv, lateral – 0,17 mSv). Considerable female breast irradiation is caused by X-ray spine examinations (thorax and lumbar). It is necessary to ensure radiation protection of female breast in diagnostic radiology, including quality control and optimization. Also need to shut female breast by X-ray protection apron, particularly in the lateral projection.*

**Key words:** *diagnostic radiology, X-ray exposure, women, breast, cancer, mammography, organ absorbed dose, risk, effective dose, radiation protection, optimization, quality control.*

## References

1. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English. Edited by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow: Alana, 2009. 312 p. (In Russian)
2. The information about patients radiation doses during medical X-ray examinations. State statistical report. Form No. 3-DOS: approved. Resolution of the Goskomstat of Russia. Moscow, 2017. (In Russian)
3. ICRP Publication 26. Radiation Protection. Recommendations of the ICRP. Ann. Moscow. Atomizdat; 1978: 87 p. (In Russian)
4. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60 of the ICRP. Moscow: Ergoatomizdat; 1994: 192 p. (In Russian)
5. Healthcare in Russia. 2017: Stat.sb. Rosstat. Moscow; 2017: 170 p. (In Russian)
6. Methodological guidelines 2.6.1.2944-11 «Control of radiation doses in patients during medical X-ray examinations.» (In Russian)
7. Tapiovaara M, Lakkisto M, Servomaa A. PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139, 2nd Edition. Helsinki, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 2008. (In Russian)
8. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I, Annex B. -New York, UN, 2000.
9. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I, Annex A. – New York, UN, 2010.
10. Belavina EA. Organizational and methodological support for radiation diagnosis and prevention of breast cancer in woman in Saint-Petersburg. Abstract of Candidate Medical Science. 2006: 22p. (In Russian)
11. Balonov M, Golikov V, Zvonova I, et al. The patient doses from medical X-ray examinations in Russia: 2009-2015. *J. Radiol. Prot.* 2018; 38; 121–139. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9b99>
12. Vlasova MM. The scientific rationale for organization of radiation diagnostics and radiation therapy service in separate region during the health care reorganization. Abstract of Doctor Medicine thesis. Saint-Petersburg; 2001: 37 p. (In Russian)
13. Nikitin VV, Ermakov IA, Zherbin EA, et al. Assessment of the doses of the public from X-ray procedures in USSR in 1970-1980. Moscow: TSNllatominform; 1986: 25 p. (In Russian)
14. Methodical recommendations 2.6.1.0098-15. Assessment of radiation risk in patients during radiological examinations. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2015:42. (In Russian)

Received: 24 October, 2019

**For correspondence: Sergey A. Kalnitsky** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: s.kalnitsky@niirg.ru)

**Evgenia L. Ladanova** – Graduate student, Junior Researcher, Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Kalnitsky S.A., Ladanova E.R. Exposure of the breast, corresponding radiation risks and radiation protection for woman, undergoing conventional X-ray examinations *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2020. Vol. 13, No 3. P. 110-122. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-110-122**