

ЛУЧЕВЫЕ НАГРУЗКИ НА ОРГАНЫ РИСКА ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОБЛУЧЕНИЯ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Л.И. Корытова, Е.А. Маслюкова, А.В. Бондаренко, О.В. Корытов, Е.М. Муравник
Российский научный центр радиологии и хирургических технологий,
Санкт-Петербург

Проведено сравнение лучевых нагрузок на органы риска (сердце, левая нисходящая коронарная артерия, левое легкое) для трех вариантов облучения рака левой молочной железы (МЖ): в стандартной позиции на спине при свободном дыхании (ССД), в положении на спине с управляемой задержкой дыхания на вдохе (СЗД) и в позиции на животе при свободном дыхании (ЖСД).

Наилучшие показатели для сердца: $V_{25\text{серд}}$, $D_{\text{серд}}$ и $D_{\text{серLAD}}$ получены при применении методики СЗД по сравнению с методиками ССД и ЖСД при включении в объем МЖ и аксиллярных лимфатических узлов (ЛУ). Наилучшие показатели для левого легкого получены при применении методики ЖСД при включении в объем МЖ и аксиллярных ЛУ. При включении в объем облучения над- и подключичных ЛУ при использовании методик ССД и СЗД каких-либо преимуществ не выявлено.

Ключевые слова: рак молочной железы, лучевая терапия, сердце, левая передняя нисходящая коронарная артерия (LAD), ипсилатеральное легкое, управляемая задержка дыхания

Введение

Органосохраняющие операции, выполняемые до облучения всей молочной железы (МЖ), являются стандартным подходом при лечении ранних стадий рака МЖ (РМЖ) [1]. Доказано, что адъювантная лучевая терапия (ЛТ) уменьшает частоту местных рецидивов и увеличивает показатели общей выживаемости [2]. С другой стороны, ЛТ РМЖ может быть связана с увеличением частоты лучевых повреждений. Результаты мета-анализа показывают значительное преобладание смертности, не связанной с РМЖ (заболевания сердечно-сосудистой системы и рак легких), в группе пациентов, получавших ЛТ, по сравнению с пациентами, не получавшими ЛТ [2].

Однако, необходимо отметить, что эти результаты основаны на данных по использованию устаревших методик ЛТ и методов лече-

ния. Современные методики (3D-конформная ЛТ, IMRT, VMAT) позволяют снизить лучевую нагрузку на сердце и легкое, сохраняя хорошее покрытие объема мишени [3–7]. Несмотря на это, дозы, получаемые сердцем и левой нисходящей артерией (LAD) при проведении ЛТ в положении на спине, остаются значительными [8, 9]. Было доказано, что воздействие ионизирующего излучения на сердце значительно увеличивает риск развития ИБС: каждый 1 Гр средней дозы, полученной в сердце ($D_{\text{серд}}$), увеличивает риск поражения главных коронарных сосудов на 7,4 % [10]. Снижение лучевой нагрузки на органы риска имеет первостепенное значение для пациентов РМЖ в связи с тем, что увеличивающаяся продолжительность жизни этих пациентов повышает вероятность развития поздних лучевых осложнений.

В работе [11] показано, что проведение ЛТ с адаптацией с дыханием приводит к сниже-

нию лучевой нагрузки на сердце и легкие, т.к. на высоте вдоха происходит пространственное разобщение сердца и облучаемого объема мишени, а также снижение плотности легочной ткани. Облучение в положении на животе позволяет снизить лучевую нагрузку на сердце и легкие [12, 13]. Немногочисленные исследования доказали уменьшение облучаемого объема легочной ткани у всех пациентов и уменьшение объемов сердца, подвергающихся облучению, особенно у пациенток с большой железой ($\geq 1000 \text{ см}^3$), по сравнению с облучением в положении на спине [12–14]. Однако ни в одном из этих исследований не проводилось сравнение лучевой нагрузки на органы риска при проведении ЛТ в положении на спине с использованием управляемой задержки дыхания на полном вдохе и в положении на животе.

Целью исследования является проспективное сравнение трех различных методик ЛТ: в стандартной позиции на спине при свободном дыхании (ССД), в положении на спине с управляемой задержкой дыхания на вдохе (СЗД) и в позиции на животе при свободном дыхании (ЖСД) при облучении МЖ и регионарных лимфатических узлов (ЛУ).

Материал и методы

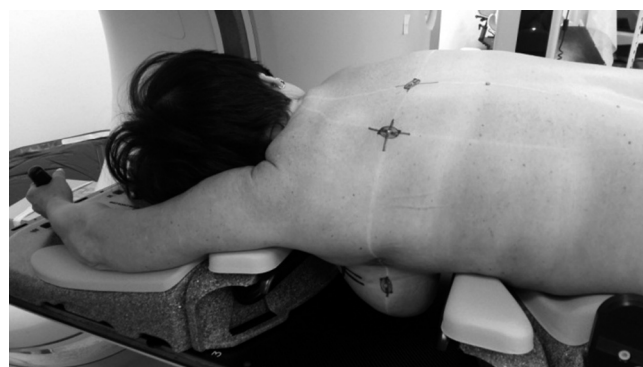
В РНЦРХТ Минздрава России для анализа были подготовлены планы ЛТ 20 пациенток с левосторонней локализацией РМЖ. Для каждого случая были рассчитаны 8 планов облучения на основе трех серий КТ-сканов:

1. В положении лежа на спине с использованием индивидуально модифицированного фиксирующего устройства breast-board при свободном дыхании, с или без включения в зону облучения над- и подключичных ЛУ (рис. 1а и планы 1 и 2 на рис. 3 и 4).
2. В положении лежа на животе с использованием устройства prone-board с или без включения подмышечных ЛУ (рис. 1б и планы 3 и 4 на рис. 3 и 4).
3. В положении лежа на спине с использованием индивидуально модифицированного устройства breast-board с задержкой дыхания, с или без включения в зону облучения над- и подключичных ЛУ (рис. 1в и, планы 5 и 6 для $PTV=1,0 \text{ см}$ и планы 7 и 8 для $PTV=0,5 \text{ см}$ на рис. 3 и 4).

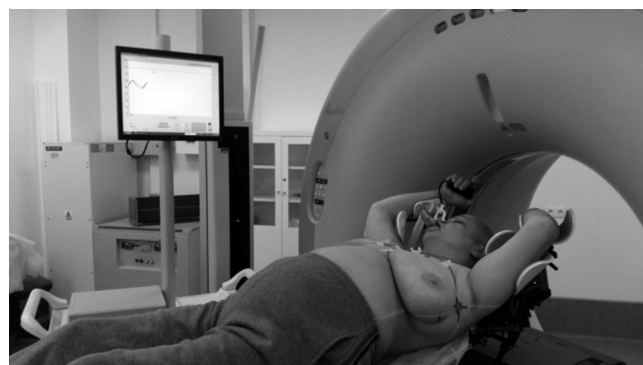
Для активного управления задержкой дыхания на высоте вдоха применялось устройство



а



б



в

Рис. 1. Укладка пациента при предлучевой подготовке: а – положение на спине при свободном дыхании; б – положение на животе; в – положение на спине с управляемой задержкой дыхания на высоте вдоха с помощью аппарата ABC (Elekta)

ABC (Elekta, Sweden). КТ-данные передавали на систему планирования облучения ХЮ, Elekta (рис. 2). Все этапы предлучевой подготовки проводились одной и той же командой, включавшей врача-топометриста, радиотерапевта и медицинского физика.

Для всех оконтуренных структур во всех планах для каждого пациента были генерированы гистограммы доза–объем.

Использовали среднее фракционирование дозы: суммарная доза $D=42 \text{ Гр}$ за 14 фрак-

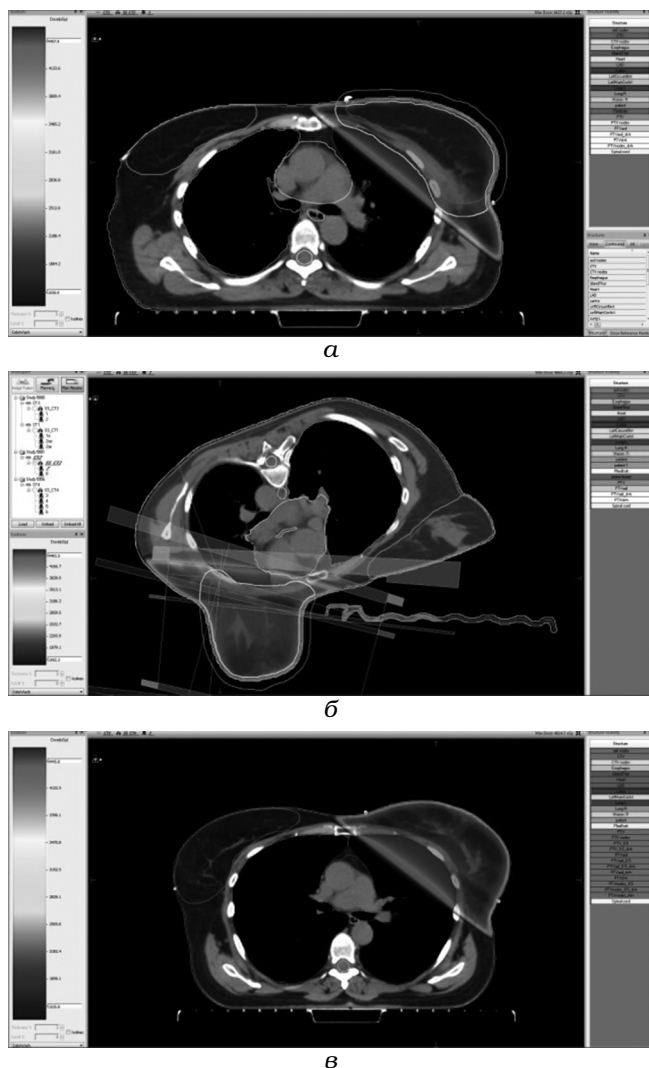


Рис. 2. Распределение дозы при различных методах: а – положение на спине при свободном дыхании, б – положение на животе, в – положение на спине с управляемой задержкой дыхания на вдохе

ций, а в случае поражения над- и подключичных ЛУ $D=39$ Гр, при этом производили перерасчет биологически изоэффективных доз, при которых проявляются лучевые реакции и осложнения со стороны легких с учетом величины коэффициента линейно-квадратичной модели α/β , по формуле:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{d_2 + \frac{\alpha}{\beta}}{d_1 + \frac{\alpha}{\beta}},$$

где D_1 и D_2 – суммарная и изоэффективная доза в режиме стандартного и среднего фракционирования,

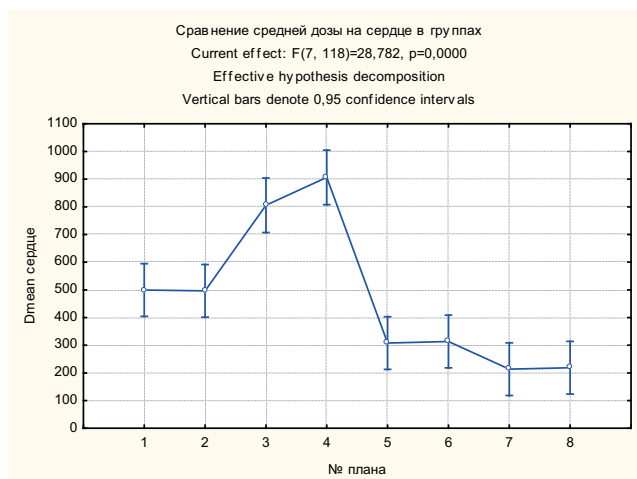


Рис. 3. Сравнение средней дозы в сердце по группам

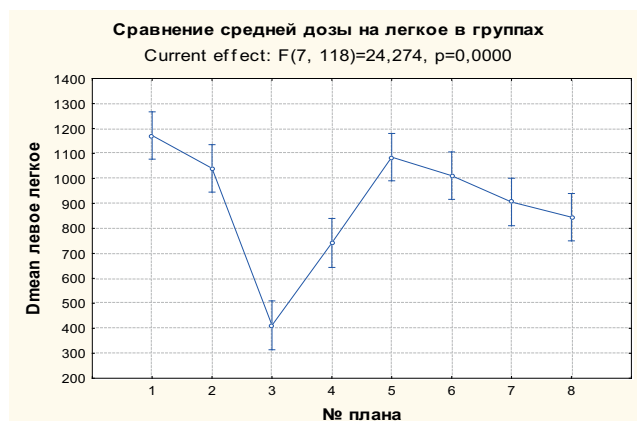


Рис. 4. Сравнение средней дозы в левом легком по группам

рования, d_1 и d_2 – разовые дозы в режиме стандартного и среднего фракционирования.

Для ранних лучевых реакций в легком (пневмониты, $\alpha/\beta=9$) величина V_{30} стандартного фракционирования соответствовала $V_{28 \text{ легк}}$, для поздних осложнений (пневмофиброз, $\alpha/\beta=3,1$) – $V_{25 \text{ легк}}$, для сердца ($\alpha/\beta=3,1$) – $V_{25 \text{ серд}}$. Для LAD и сердца определяли величины: $D_{\text{ср серд}}$, $V_{25 \text{ серд}}$ и $D_{\text{ср LAD}}$, пересчитанные для режима среднего фракционирования при $\alpha/\beta=3,1$. Для левого легкого были рассчитаны: $D_{\text{ср легк}}$, $V_{28 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=9$) и $V_{25 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=3,1$).

Статистический анализ проводили с помощью программы STATISTICA 12. Для сравнения дозо-объемных параметров использовалась описательная статистика, дисперсионный анализ (ANOVA), направленный на поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних

значениях и позволяющий сравнивать средние значения трёх и более групп. Для всех статистических тестов $P < 0,05$ было статистически значимым.

Результаты

При сравнении $D_{\text{ср серд}}$ во всех группах наилучшие результаты достигнуты в группе СЗД, наихудшие – в позиции ЖСД (рис. 3). При сравнении всех планов, когда в зону облучения входили только МЖ и аксиллярные ЛУ, наименьшие значения $D_{\text{ср серд}}$ зафиксированы в положении на спине с управлением дыхания, а наихудшие – в положении на животе (табл. 1).

При анализе доз в сердце, когда в зону облучения входили над- и подключичные ЛУ (сравнивали методики ССД и СЗД), наименьшие значения $D_{\text{ср серд}}$ были получены в положении СЗД (табл. 2). Облучение над- и подключичных ЛУ в положении на животе технически невозможно. Аналогичная закономерность наблюдалась при оценке значений $V_{25 \text{ серд}}$. Наибольшие дозы в $V_{25 \text{ серд}}$ получены в положении на животе, наименьшие – в положении на спине с управлением дыхания, вне зависимости от того, облучались ли над- и подключичные ЛУ или нет. Эти различия были статистически значимы. Сходные результаты получены для $D_{\text{ср LAD}}$ – достоверно более низкие дозы приходятся в положении СЗД по сравнению с положением ССД и положением ЖСД, если не облучаются над- и подключичные ЛУ (табл. 1). При облучении над- и подключичных ЛУ, также отмечено преимущество методики СЗД над ССД (табл. 2).

Таким образом, сравнение всех выбранных нами показателей показало наличие следующих закономерностей: при включении в зону облучения МЖ и только аксиллярных ЛУ, методика СЗД является оптимальной с точки зрения снижения лучевой нагрузки на сердце и LAD; методика ЖСД оказалась наихудшей по всем данным – $D_{\text{ср LAD}}$, $D_{\text{ср серд}}$ и $V_{25 \text{ серд}}$. Все результаты были статистически значимы (табл. 1). Анализ данных при использовании ССД и СЗД методик, с включением в поле облучения над- и подключичных ЛУ выявил преимущество СЗД также по всем показателям.

При сравнении $D_{\text{ср легк}}$ во всех группах наилучшие результаты достигнуты в группе ЖСД, наихудшие – в позиции ССД (рис. 4). При

Таблица 1
Сравнение величин $D_{\text{ср серд}}$, $D_{\text{ср LAD}}$, $V_{25 \text{ серд}}$ без облучения над и подключичных ЛУ для трех методик (ССД, ЖСД, СЗД)

Показатель	ССД	ЖСД	СЗД	Значение p
$D_{\text{ср серд}}$, Гр	4,96	9,06	3,13	$p=0,00000$
$D_{\text{ср LAD}}$, Гр	19,55	24,18	13,8	$p=0,00088$
$V_{25 \text{ серд}}$, см ³	9,49	12,82	4,26	$p=0,00153$

Таблица 2
Сравнение $D_{\text{ср серд}}$, $D_{\text{ср LAD}}$, $V_{25 \text{ серд}}$ с облучением над и подключичных ЛУ при ССД и СЗД

Показатель	ССД	СЗД	Значение p
$D_{\text{ср сердце}}$, Гр	4,99	3,08	$p=0,00405$
$D_{\text{ср LAD}}$, Гр	19,89	13,88	$p=0,03260$
$V_{25 \text{ сердце}}$, см ³	7,91	3,49	$p=0,00205$

сравнении планов, когда в зону облучения входили только МЖ и аксиллярные ЛУ, наименьшие значения $D_{\text{ср легк}}$ зафиксированы в положении ЖСД (табл. 3). Анализ доз в легком, когда в зону облучения входили над- и подключичные ЛУ (сравнивали ССД и СЗД методики), не показал значимых различий (табл. 4).

Аналогичная закономерность наблюдалась при оценке значений $V_{25 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=3,1$) и $V_{28 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=9$). Наибольшие дозы, приходящиеся на $V_{25 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=3,1$) и $V_{28 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=9$) левого легкого получены при ССД, наименьшие – при СЗД в случае, если не облучали над- и подключичные ЛУ (табл. 3). Анализ доз в левом легком, когда в зону облучения входили над- и подключичные ЛУ (сравнивали ССД и СЗД методики), не выявил достоверных различий (табл. 4). Облучение над- и подключичных ЛУ в положении на животе технически невозможно.

Сравнение всех выбранных нами показателей для левого легкого показало наличие следующих закономерностей: при включении в зону облучения МЖ и только аксиллярных ЛУ, методика в позиции на животе является наилучшей, с точки зрения снижения лучевой нагрузки на левое легкое. Анализ значений $D_{\text{ср легк}}$, $V_{28 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=9$) и $V_{25 \text{ легк}}$ ($\alpha/\beta=3,1$) при использовании ССД и СЗД с включением в поле облучения над- и подключичных ЛУ не выявил каких-либо преимуществ между методиками по всем показателям.

Таблица 3

Сравнение $D_{\text{сп. легк.}}$, $V_{28 \text{ легк.}} (\alpha/\beta=9)$ и $V_{25 \text{ легк.}} (\alpha/\beta=3,1)$ левого легкого без облучения над- и подключичных ЛУ при ССД, ЖСД и СЗД

Показатель	ССД	ЖСД	СЗД	p-value
$D_{\text{сп. легк.}}$, Гр	10,42	7,42	10,11	$p = 0,00002$
$V_{28 \text{ легк.}}$ (пульмониты) $\alpha/\beta = 9$	19,60	9,19	19,01	$p = 0,00000$
$V_{25 \text{ серд.}}$ (пневмофиброз) $\alpha/\beta = 3,1$	20,73	10,19	20,17	$p = 0,00000$

Таблица 4

Сравнение $D_{\text{сп. легк.}}$, $V_{28 \text{ легк.}} (\alpha/\beta=9)$ и $V_{25 \text{ легк.}} (\alpha/\beta=3,1)$ левого легкого с облучением над- и подключичных ЛУ при ССД, СЗД

Показатель	ССД	СЗД	p-value
$D_{\text{сп. легк.}}$, Гр	11,72	10,85	$p = 0,2964$
$V_{28 \text{ легк.}}$ (пульмониты) $\alpha/\beta = 9$	21,64	20,17	$p = 0,461$
$V_{25 \text{ легк.}}$ (пневмофиброз) $\alpha/\beta = 3$	23,07	21,49	$p = 0,438$

Обсуждение и выводы

Все более молодой возраст пациенток с РМЖ, тенденция к более раннему выявлению заболевания, определенные успехи в лекарственном лечении привели к увеличению продолжительности жизни этих пациенток. Внедрение в практическое здравоохранение новых методик, способствующих снижению лучевых нагрузок на органы риска в настоящее время является актуальной задачей. Целью нашего исследования было изучить влияние различных методик проведения ЛТ при РМЖ на параметры дозо-объемного распределения в критических структурах. Это первое в России исследование, где сравниваются между собой дозиметрические показатели дозо-объемного распределения для трех методик. В отличие от опубликованных работ иностранных авторов, мы также сравнили методики ССД и СЗД в тех случаях, когда в зону облучения дополнительно включались над- и подключичные ЛУ.

Результаты нашей работы показали неоднозначность выводов по сравнению с данными международных исследований. В отличие от работы [15], показавшей уменьшение средней дозы в легких и в сердце, мы установили, что $D_{\text{сп. серд.}}$ при задержке дыхания уменьшаются, а значения $D_{\text{сп. легк.}}$ не улучшаются.

Авторы [16] при сравнении планов ЖСД и ССД не нашли видимых различий в величинах $D_{\text{сп. серд.}}$. Однако необходимо отметить, что в этой

работе проводилась оценка планов пациентов облучения и с право- и с левосторонней локализацией опухоли. Мы показали, что при левосторонней локализации РМЖ положение на животе ухудшает лучевую нагрузку на сердце, причем почти в два раза. Это позволяет сделать практический вывод о возможности применения данной методики только у пациентов с правосторонним РМЖ. Наши результаты в отношении ЛТ с использованием ЖСД совпали с наблюдением [17], что объясняет создание больших доз в сердце, полученных в положении на животе, смещением сердца кпереди в среднем на 19 мм.

Наиболее созвучной нашим результатам оказалась работа [6], в которой была показана сходная закономерность: установлены наименьшие дозы в сердце и LAD в положении лежа на спине при применении СЗД по сравнению с методиками ЖСД и ССД. Нагрузка на сердце была наилучшей в положении ЖСД. Выявлено статистически значимое снижение доз в ипсилатеральном легком при использовании укладки на животе. Однако в этой работе, в отличие от нашей, не проводилась оценка дозо-объемного распределения в органах риска при включении в зону облучения над- и подключичных ЛУ. В случае включения над- и подключичных ЛУ в методики ССД и СЗД мы получили приблизительно одинаковую нагрузку в левом легком.

По итогам исследования можно утверждать, что в отношении снижения лучевой нагрузки на сердце и LAD необходимо признать преимущество методики активного управления дыханием в положении пациентки лежа на спине. Кроме того, при использовании этой методики возможно проведение ЛТ дополнительно на область регионарных ЛУ [18]. Мы смогли подтвердить техническую возможность осуществления дозиметрического расчета таких планов. Недостатком методики проведения ЛТ с управлением дыхания является необходимость обучения и предварительного проведения тренинга пациентов, что удлиняет продолжительность процедуры ЛТ [19, 20]. Пациенты должны быть в хорошей физической форме и способны реализовать грудной, а не брюшной тип дыхания. При назначении этих методик следует принимать во внимание не только дозы в органах риска, но и техническую воспроизводимость.

Расчёты планов ЛТ в положении больной на животе не оправдали наших ожиданий в отношении снижения лучевой нагрузки на сердце, а наоборот, показали наихудшие результаты дозо-объемного распределения в сердце и в LAD. Реализация этой методики может позволить улучшить дозо-объемное распределение в ипсилатеральном легком и соответственно, уменьшить риск развития ранних реакций и поздних осложнений. Идеальными кандидатами для проведения ЛТ методикой ЖСД являются пациенты с поражением правой железы, при отсутствии показаний к облучению над- и подключичных ЛУ.

Все методики имеют свои преимущества и недостатки. Мы рекомендуем в каждом конкретном случае принимать индивидуальные решения при подготовке плана ЛТ.

Список литературы

1. Fisher B., Anderson S., Bryant J. et al. Twenty-year follow-up of a randomized trial comparing total mastectomy, lumpectomy, and lumpectomy plus irradiation for the treatment of invasive breast cancer // *N. Engl. J. Med.* 2002. Vol. 347. № 16. P. 1233–1241.
2. Clarke M., Collins R., Darby S. et al. Effects of radiotherapy and of differences in the extent of surgery for early breast cancer on local recurrence and 15-year survival: an overview of the randomized trials // *Lancet.* 2005. Vol. 366. P. 208702106.
3. Muren L.P., Maurstad G., Hafslund R. et al. Cardiac and pulmonary doses and complication probabilities in standard and conformal tangential irradiation in conservative management of breast cancer // *Radiother. Oncol.* 2002. Vol. 62. P. 173–183.
4. Schubert L.K., Gondi V., Sengbusch E. et al. Dosimetric comparison of left-sided whole breast irradiation with 3DCRT, forward-planned IMRT, inverse-planned IMRT, helical tomotherapy and tophototherapy // *Radiother. Oncol.* 2011. Vol. 100. P. 241–246.
5. Taylor C.W., Povall J.M., McGale P. et al. Cardiac dose from tangential breast cancer radiotherapy in the year 2006 // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2008. Vol. 72. P. 5010507.
6. Verhoeven K., Sweldens C., Petillion S. et al. Breathing adapted radiation therapy in comparison with prone position to reduce the doses to the heart, left anterior descending coronary artery, and contralateral breast in whole breast radiation therapy // *Practical. Radiation. Oncol.* 2014. Vol. 4. P. 123–129.
16. Griem K.L., Fetherston P., Kuznetsova M. et al. Three-dimensional photon dosimetry: a comparison of treatment of the intact breast in the supine and prone position // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2003. Vol. 57. P. 891–899.
8. Ares C., Khan S., Macartain A.M. et al. Postoperative proton radiotherapy for localized and locoregional breast cancer: potential for clinically relevant improvements? // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2010. Vol. 76. P. 685–697.
9. Hayden A.J., Rains M., Tiver K. Deep inspiration breath hold technique reduces heart dose from radiotherapy for left-sided breast cancer // *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2012. Vol. 56. P. 464–472.
10. Darby S.C. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer // *New Engl. J. Med.* 2013. Vol. 368. № 11. P. 987–998
11. Korreman S.S., Pederson A.N., Aarup L.R. et al. Reduction of cardiac and pulmonary complication probabilities after breathing adapted radiotherapy for breast cancer // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2006. Vol. 65. P. 1375–1380.
12. Kirby A.M., Evans P.M., Helyer S.J. A randomised trial of supine versus prone breast radiotherapy: comparing set-up errors and res-

- piratory motion // *Radiother. Oncol.* 2011. Vol. 100. P. 221–226.
14. Buijsen J., Jager J.J., Bovendeerd J. et al. Prone breast irradiation for pendulous breasts // *Radiother. Oncol.* 2007. Vol. 82. P. 337–340.
 19. Korreman S.S., Pedersen A.N., Nottrup T.J. et al. Breathing adapted radiotherapy for breast cancer: comparison of free breathing gating with the breath-hold technique // *Radiother. Oncol.* 2005. Vol. 76. P. 311–318.
 20. Latty D., Stuart K.E., Wang W. et al. Review of deep inspiration breath-hold techniques for the treatment of breast cancer // *J. Med. Radiat. Sci.* 2015. Vol. 62. P. 74–81.
 13. Lymberis S.C., Dewyngaert J.K., Parhar P. et al. Prospective assessment of optimal individual position (prone versus supine) for breast radiotherapy: volumetric and dosimetric correlations in 100 patients // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012. Vol. 84. P. 902–909.
 17. Chino J.P., Marks L.B. Prone positioning causes the heart to be displaced anteriorly within the thorax: implications for breast cancer treatment // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2008. Vol. 70. P. 916–920.
 18. Remouchamps V.M., Vicini F.A., Sharpe M.B. et al. Significant reductions in heart and lung doses using deep inspiration breath hold with active breathing control and intensity-modulated radiation therapy for patients treated with locoregional breast irradiation // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2003. Vol. 55. P. 392–406.
 15. Swanson T., Grills I.S., Entwistle A et al. Six-year experience routinely using moderate deep inspiration breath-hold for the reduction of cardiac dose in left-sided breast irradiation for patients with early-stage or locally advanced breast cancer // *Am. J. Clin. Oncol.* 2013. Vol. 36. P. 24–30.
 7. Yin Y., Chen J., Sun T. et al. Dosimetric research on intensity modulated arc radiotherapy planning for left breast cancer after breast-preservation surgery // *Med. Dosimetry.* 2012. Vol. 37. P. 287–292.

RADIATION DOSES TO THE ORGANS OF RISK FOR VARIOUS MODES OF THE BREAST CANCER RADIATION TREATMENT

L.I. Korytova, E.A. Maslyukova, A.V. Bondarenko, O.V. Korytov, E.M. Muravnik

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

The comparison of the radiation dose to the heart, the left anterior descending coronary artery and to the ipsilateral lung for three modes of radiation treatment of the left breast cancer : in standard supine position in free-breathing (FB), supine position with active breathing control (ABC) device in deep inspiratory breath hold, and prone position in free-breathing (PP) was investigated.

The best marks such as V_{25} and D_{mean} to the heart and LAD, were achieved with on ABC and PP, when both the breast and the axillary nodes were included in the volume. The advantage of the dosimetric indexes for FB and ABC did not change while axillary and supraclavicular nodes were added to the radiation volume.

The best marks to the ipsilateral lung were achieved with PP in comparison with the FB and ABC and when the breast and the axillary nodes were included in the volume. There were no revealed advantages for PP and ABC while subclavian and supraclavicular lymph nodes were added to the radiation volume.

Key words: *breast cancer, radiotherapy, heart, anterior descending coronary artery, ipsi-lateral lung, active breathing control*

E-mail: radiation-therapy@yandex.ru