

ПРЕДЛУЧЕВАЯ ПОДГОТОВКА И ОКОНТУРИВАНИЕ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ У БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

*Е.В. Тимошкина, О.П. Трофимова, В.В. Глебовская, М.В. Черных, Т.А. Крылова
Национальный медицинский исследовательский центр онкологии
им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ, Москва*

Цель. Проанализировать особенности и специфику предлучевой топометрической подготовки и процесса оконтуривания облучаемых объемов при планировании дистанционной лучевой терапии у больных раком молочной железы после одномоментной реконструкции синтетическими материалами.

Материал и методы. Рассмотрены основные процедуры предлучевой топометрической подготовки, в том числе эвакуации жидкости из экспандера, определения облучаемых объемов, влияния металлического порта экспандера на дозовое распределение.

Результаты. Представлены научно обоснованные рекомендации по выполнению таких этапов технологической цепочки дистанционной лучевой терапии, как предлучевая топометрическая подготовка и оконтуривание облучаемых объемов у больных раком молочной железы после одномоментной реконструкции синтетическими материалами.

Ключевые слова: *рак молочной железы, лучевая терапия, предлучевая подготовка, оконтуривание, экспандер, металлический порт*

DOI: 10.52775/1810-200X-2023-97-1-21-32

Введение

Первые попытки протезирования молочную железу у больных раком молочной железы (РМЖ) были предприняты еще в XIX веке. В 1858 г. Вернейль восстановил удаленную молочную железу (МЖ) за счет перемещения части контралатеральной железы. В 1895 г. Черни выполнил первую маммопластику “свободным” аутотрансплантатом за счет жировой ткани, взятой из поясничной области. В 20–30 годы XIX века реконструктивно-пластические операции выполнялись преимущественно стебельчатыми лоскутами. В 1950–60 гг. для ре-

конструкции МЖ впервые стали использовать эндопротезы, однако материал, из которых они изготавливались (каучук, полиуретан, поливинил), приводил к значительному количеству осложнений. Только в 1970–80 гг. появились силиконовые эндопротезы и экспандеры [1]. В 1963 г. Cronin и Geow впервые имплантировали эндопротезы, заполненные силиконовым гелем, для отсроченной реконструкции МЖ после мастэктомии. В 1971 г. R.K. Snyderman и R.H. Guthrie опубликовали результаты одномоментной реконструкции силиконовым имплантатом, расположенным под оставшимся после мастэктомии кожным конвертом [2].

Одномоментная реконструкция МЖ представляет собой важный этап комплексного лечения РМЖ с эстетической и психосоциальной точек зрения. Количество выполняемых реконструктивно-пластических операций возрастает с каждым годом. Так, по данным базы Национальной программы улучшения качества хирургии (American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program), частота выполнения реконструктивных операций возросла с 30,3 % в 2005 году до 54,4 % в 2014 году, а согласно Национальной онкологической базе данных (National Cancer Database) – с 8 % в 1995 г. до 41 % в 2013 г. [3]. Согласно статистике Американского общества пластических хирургов (American Society of Plastic Surgeons), количество выполняемых реконструктивно-пластических операций на 2017 г. выросло на 39 % по сравнению с 2000 г. и на 3 % по сравнению с 2015 г.

Одновременно с увеличением частоты выполнения одномоментной реконструкции МЖ возрастает и количество пациенток, которым необходимо или строго рекомендуется к рассмотрению проведение в послеоперационном периоде дистанционной ЛТ. Так, ретроспективное исследование на основе данных из базы SEER показало рост числа больных, которым показана адъювантная ЛТ, с 13,4 % в 2000 г. до 27 % в 2012 г., и числа больных, которым рекомендовано рассмотрение необходимости проведения ЛТ, – с 14,8 % до 30,9 % соответственно [4].

Такие этапы технологической цепочки проведения адъювантной лучевой терапии больным РМЖ с одномоментно выполненной реконструктивно-пластической операцией с применением синтетических материалов, как предлучевая топометрическая подготовка и оконтуривание облучаемых объемов, обладают рядом принципиальных особенностей, которые и будут рассмотрены.

Предлучевая топометрическая подготовка

В настоящее время основной технологией проведения дистанционной ЛТ при РМЖ является 3D конформная лучевая терапия, требующая получения топометрических срезов тела пациента на компьютерном томографе, на которых будет проводиться оконтуривание облучаемых объемов и органов риска. Рекомен-



Рис. 1. Внешний вид компьютерного томографа для предлучевой топометрической подготовки с установленными на деку стола позибордом и подколеником

дуемая толщина среза составляет 5 мм. С целью воспроизводимости укладки от сеанса к сеансу необходимо использовать фиксирующие приспособления; чаще всего используются позиборд и подколеник (рис. 1).

С целью определения границ облучаемых объемов на срезах рекомендуется отмечать рентгеноконтрастными метками на коже послеоперационные швы, а также границы реконструированной МЖ. Важным моментом является необходимость сохранения объема экспандера идентичным от момента выполнения предлучевой топометрической подготовки до полного завершения всего курса ЛТ, поэтому пациентку необходимо предупреждать о недопустимости изменения его наполненности. В противном случае, когда изменение степени наполненности экспандера значительно, необходимо провести повторную предлучевую топометрическую подготовку и перерасчет лечебного плана.

У пациенток с левосторонней локализацией опухоли, а также с билатеральным поражением рационально предлучевую подготовку и лечение проводить на задержке дыхания под контролем системы RPM Respiratory Gating с целью снижения суммарной дозовой нагрузки на органы риска, в первую очередь – на сердце. Система включает в себя шеститочечный маркер, который устанавливается на грудной стенке пациентки; движения маркера отслежи-



Рис. 2. Внешний вид камеры системы отслеживания дыхательных движений

ваются камерой, установленной напротив компьютерного томографа (рис. 2).

Фактическое положение маркера отображается в виде жёлтой полосы в программе RPM Respiratory Gating. Синяя полоса соответствует глубине вдоха и выбирается индивидуально в процессе проведения топометрической подготовки: изначально пациентку тренируют удерживать вдох под визуальным контролем врача, потом – в процессе наблюдения за движением маркера в программе. Наконец, в процессе проведения сеанса ЛТ рентгенолаборант контролирует совпадение жёлтой и синей полос, что соответствует оптимальной глубине вдоха, при удержании которой и проводится лечение (рис. 3).

Необходимость эвакуации жидкости из экспандера

На данный момент оптимальная с точки зрения проведения ЛТ степень наполненности



Рис. 3. Интерфейс программы RPM Respiratory Gating. Слева сверху транслируется изображение с камеры, зелёной рамкой выделен датчик дыхательных движений. Жёлтая полоса справа соответствует положению датчика, синяя полоса – выбранная при топометрической подготовке глубина вдоха. Справа внизу пространство между синей и оранжевой линией соответствует выбранной при топометрической подготовке глубине вдоха, чёрная линия – дыхательной кривой в течение записи

экспандера не определена и во многом зависит от личных предпочтений лечащего врача. Так, опрос, проведенный S. Chen et al в 2013 г., показал, что из 358 радиотерапевтов 60 % предпочли бы, чтобы экспандер был частично наполнен (150–250 мл), 13 % – совершенно не наполнен, 28 % – наполнен до запланированного объёма или близко к таковому на момент проведения лучевого лечения [5].

Технически возможны адекватное оконтуривание облучаемых объёмов и расчёт лечебного плана с соблюдением допустимых нагрузок на органы риска вне зависимости от степени наполненности экспандера. Поэтому при решении вопроса о целесообразности удаления жидкости экспандера необходимо учитывать другие факторы, в частности, последующий хирургический этап, заключающийся в замене экспандера на постоянный имплантат, а также риск возникновения осложнений. Некоторые авторы (U. Veronesi et al) считают, что ЛТ следует проводить до наполнения экспандера или же, если экспандер к моменту предлучевой топометрической подготовки уже был частично наполнен, произвести эвакуацию жидкости из него [6]. Существует и противоположная точка зрения, возражающая против подобной тактики и аргументированная тем, что изменение наполненности экспандера приводит к уве-

личению частоты осложнений. Например, в рамках работы Woo et al пациентки, которым была выполнена одномоментная реконструкция экспандером, были разделены на две группы. В первой группе из наполненного ранее экспандера жидкость была полностью удалена до начала ЛТ, а во второй группе экспандер был наполнен до определенного объема, и степень его наполненности оставалась постоянной до момента завершения ЛТ. Среди пациенток, которым была выполнена эвакуация жидкости из экспандера, такие осложнения, как фиброз, капсулярная контрактура и возникновение инфекционного процесса, которые привели к необходимости удаления экспандера, встречались достоверно чаще. Эти наблюдения сделаны по сравнению с группой, в которой экспандер оставался наполненным во время проведения ЛТ (65 % и 6,9 % соответственно, $p=0,022$). Общее число осложнений, включая образование серомы, фиброз тканей и развитие инфекционного процесса, также было выше в группе с удалением жидкости из экспандера (65 % и 6,9 % соответственно, $p>0,001$) [7].

Возможная причина увеличения частоты осложнений после удаления жидкости из экспандера была выявлена в результате эксперимента на животной модели. В рамках работы Selet Ozden B. et al белым новозеландским кроликам был установлен на спину экспандер объемом 250 мл и наполнен до полного объема. В одной подгруппе из экспандера было эвакуировано 2/3 жидкости, и спустя сутки было проведено облучение области экспандера с двух тангенциальных полей в разовой дозе 17 Гр. Во второй подгруппе облучение проводилось на полностью наполненном экспандере. Животным из первой подгруппы проводилась УЗИ-доплерометрия для оценки параметров кровотока в облучаемой области в начале лучевого воздействия и после его завершения. Было показано, что удаление жидкости из экспандера сопровождалось значительным усилением кровотока. Медиана скорости кровотока в области нижней точки экспандера на момент начала облучения составила 32 (22–40) мл/мин/100 г у животных, которым удаление жидкости из экспандера не проводилось, и 87 (76–122) мл/мин/100 г после частичного удаления жидкости из экспандера. Кроме того, была выполнена биопсия кожи в области установленного экспандера и соединительно-тканной капсулы вокруг него. Гистологическое исследование

биоптатов показало большую частоту и выраженность интерстициальных воспалительных инфильтратов в коже, фиброза дермы, дилатации сосудов, гиалинизации и пролиферативных изменений в сосудистой стенке, а также признаков неоваскуляризации и утолщения капсулы в случаях, когда проводилось частичное удаление жидкости из экспандера. Авторы исследования сделали вывод о том, что уменьшение наполненности экспандера после его наполнения может способствовать усилению кровотока, что приводит к реоксигенации тканей, расположенных под экспандером, и увеличению их радиочувствительности [8].

Таким образом, частичное удаление жидкости из экспандера потенциально несёт в себе риски увеличения частоты и выраженности осложнений. Соответственно, принятие такого решения должно быть строго индивидуализированным и обоснованным. Основной причиной удаления жидкости из экспандера видится невозможность соблюдения толерантных доз на такие органы риска, как сердце и ипсилатеральное лёгкое. Возникновение подобных ситуаций может быть обусловлено следующими причинами:

- ✓ отеснение собственно экспандером передней грудной стенки при глубоком вдохе (рис. 4), что наблюдается при значительной наполненности экспандера – на 100 % или близко к тому от запланированного объема;
- ✓ риск включения в облучаемую область контралатеральной здоровой железы в связи с

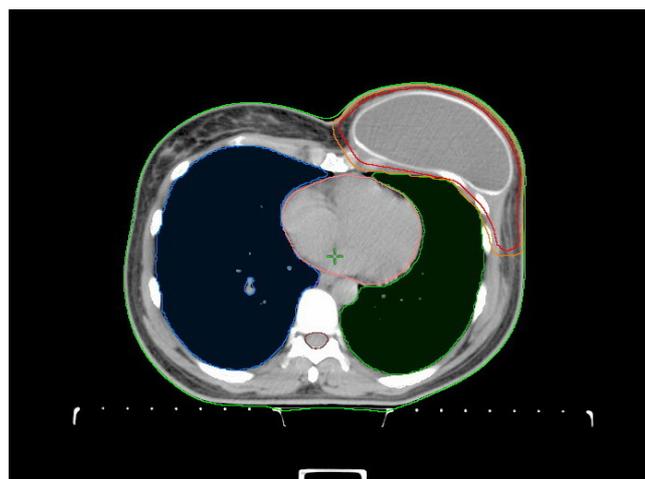


Рис. 4. Аксиальный срез топометрического КТ-изображения, выполненного на глубоком вдохе больной раком левой молочной железы после одномоментной реконструкции экспандером

анатомическими особенностями самой пациентки. Попытка избежать этого путём изменения углов полей облучения может привести к превышению дозовой нагрузки на ипсилатеральное лёгкое;

- ✓ выполненная билатеральная реконструкция, при которой требуется лучевое воздействие только на одну половину передней грудной стенки. В данной ситуации рассматривается изменение наполненности контралатерального, не нуждающегося в облучении экспандера с целью его исключения из облучаемого объёма.

В подобных случаях после расчёта изодозного распределения лечебного плана необходимо тщательный анализ параметров гистограммы доза-объём на предмет соблюдения толерантных доз на ипсилатеральное лёгкое и сердце, и в случае их достоверного превышения следует рассмотреть вопрос об изменении степени наполненности экспандера с последующим проведением повторной топометрической подготовки. В любом случае принятие подобного решения должно быть строго персонифицировано и опираться как на значение дозной нагрузки, так и на анатомические особенности пациентки, расположение экспандера относительно передней грудной стенки и степень его наполненности на момент предлучевой топометрической подготовки [9].

Определение облучаемых объёмов

В настоящее время в атласах по оконтуриванию и консенсусах не представлены отдельные рекомендации по определению границ облучаемых объёмов для реконструированной молочной железы. Поэтому радиотерапевты вынуждены ориентироваться на рекомендации, касающиеся передней грудной стенки и молочной железы, а также следовать внутренним консенсусам медицинских учреждений.

В соответствии с атласом RTOG Breast Cancer Atlas for Radiation Therapy Planning: Consensus Definition, анатомическими границами CTV для молочной железы являются следующие:

- ✓ верхняя граница – нижний край грудинно-ключичного сочленения; при возможности соотнести с верхней границей контралатеральной молочной железы;
- ✓ нижняя – соответствует нижней границе контралатеральной молочной железы;

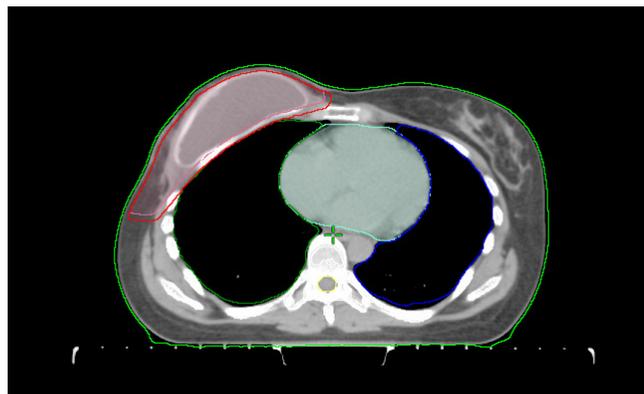


Рис. 5. Пример оконтуривания реконструированной молочной железы согласно Breast Atlas RTOG. Розовая линия соответствует объёму CTV, красная – объёму PTV

- ✓ передняя – на расстоянии 3–5 мм от поверхности кожи;
- ✓ задняя – большая грудная мышца, рёбра, межрёберные мышцы;
- ✓ латеральная – средняя аксиллярная линия, впереди от латеральной грудной артерии; при возможности соотнести с латеральной границей контралатеральной молочной железы;
- ✓ медиальная граница – перфорантные ветви внутренних грудных сосудов; при возможности соотнести с медиальной границей контралатеральной молочной железы [10]. Пример оконтуривания реконструированной МЖ согласно рекомендациям атласа RTOG представлен на рис. 5.

Консенсус ESTRO ACROP, опубликованный в 2019 г., касается определения облучаемых объёмов в случае лечения больных ранними стадиями РМЖ с одномоментной реконструкцией имплантом и обращает внимание на ряд важных аспектов оконтуривания объёма CTV молочной железы:

- ✓ необходимы подробное описание проведенной операции и данные послеоперационного гистологического исследования;
- ✓ рекомендуется отмечать рентгенконтрастными метками на коже границы послеоперационного шва;
- ✓ хотя кожа не включается в объём CTV, подкожные лимфатические сосуды должны быть включены. Поэтому рекомендуется определение границ оставшейся кожи совместно с хирургом и маркирование их рентгеноконтрастными метками;

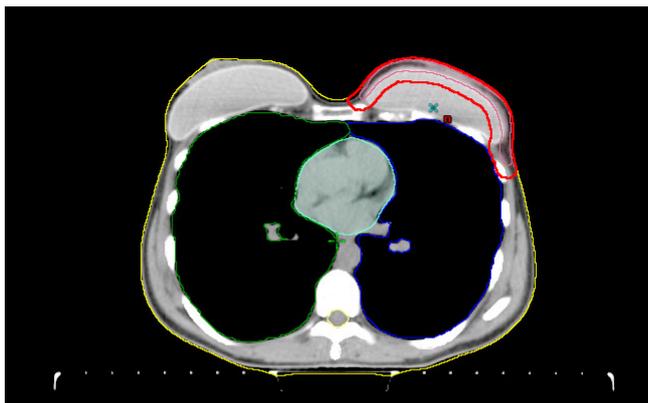


Рис. 6. Пример оконтуривания реконструированной молочной железы согласно Консенсусу ESTRO ACROP. Розовая линия соответствует объёму CTV, красная – объёму PTV

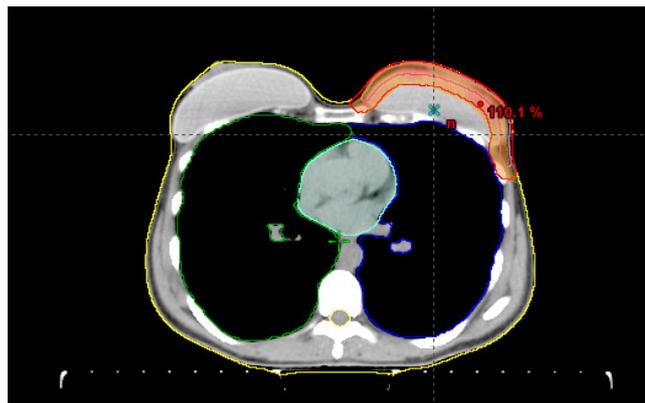


Рис. 7. Дозовое распределение для описанной выше клинической ситуации. Красный цвет соответствует объёму, включенному в изодозу 100 %, оранжевый – в изодозу 90 %

- ✓ по данным исследований, после мастэктомии остается около 5–10 % железистой ткани молочной железы, которая должна быть включена в объём CTV;
- ✓ задней границей объёма CTV для передней грудной стенки являются большая грудная мышца, рёбра и межрёберные мышцы, то есть эти структуры в объём CTV не включаются.

Отдельно отмечено, что материал, использованный для реконструкции МЖ, будь то экспандер, или имплантат, или лоскут собственных тканей, не включается в объём CTV. Рекомендуемый отступ на PTV составляет 5–7 мм с отступом от кожи не менее 5 мм и с исключением грудины и лёгкого [11].

В соответствии с клиническими руководствами, в случае ранних стадий заболевания проведение ЛТ после радикальной мастэктомии не показано, но может быть целесообразным в отдельных клинических ситуациях. Например, при выявлении клеток в крае резекции при плановом гистологическом исследовании операционного материала и невозможности выполнить ререзекцию без тотального удаления реконструированной МЖ или же при выявленном локальном рецидиве после проведенного комбинированного лечения у больных с ранней стадией РМЖ. В качестве примера приведены оконтуренные облучаемые объёмы и изодозное распределение для больной, у которой после проведенного в 2015 г. хирургического лечения по поводу рака левой МЖ в 2019 г. был выявлен локальный рецидив в области соска. Рецидивная опухоль была удалена

хирургическим путём, и в адьювантном периоде была проведена дистанционная ЛТ. Оконтуренный объём CTV для реконструированной молочной железы и дозовое распределение представлены на рис. 6 и 7.

Отдельно хотелось бы остановиться на случаях, когда экспандер расположен значительно ниже или выше контралатеральной здоровой МЖ (рис. 8, 9). В данной ситуации возникает закономерный вопрос, на каком уровне следует формировать верхнюю и нижнюю границы объёма CTV для реконструированной МЖ. Несмотря на очевидное стремление включить весь экспандер в облучаемый объём, делать этого не следует, так как собственно экспандер не тождественен удалённой ткани МЖ и мягким тканям передней грудной стенки. В подобных случаях при оконтуривании следует ориентироваться в первую очередь на такие анатомические ориентиры, как передняя грудная стенка и контралатеральная МЖ, и в случае очень низкого расположения экспандера формировать нижнюю границу объёма CTV не ниже, чем на 2 см каудальнее контралатеральной субмаммарной складки.

Влияние металлического порта экспандера на дозовое распределение при проведении лучевой терапии

В настоящее время при выполнении одномоментной реконструктивно-пластической операции на МЖ широко применяются экспан-

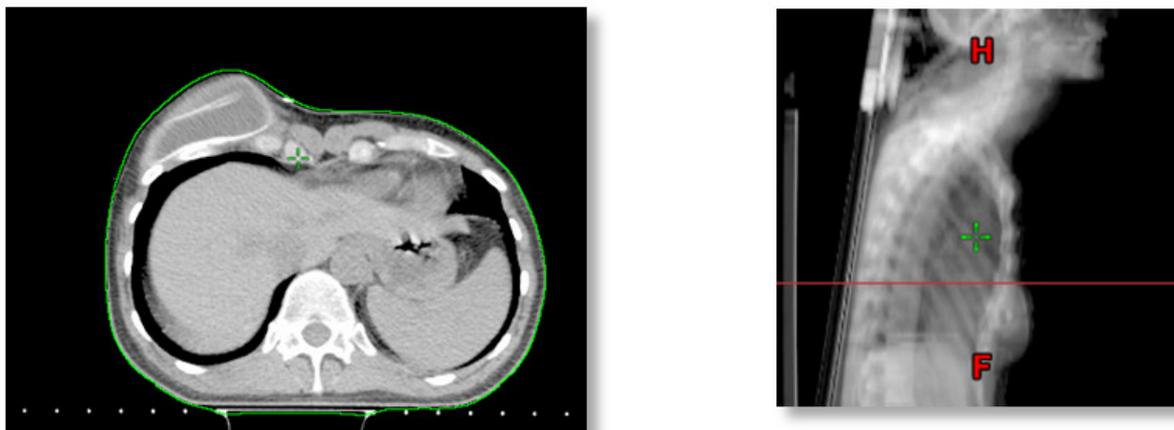


Рис. 8, 9. Аксиальный срез и боковая топограмма больной раком левой молочной железы после одномоментной реконструкции экспандером. Обращает на себя низкое расположение экспандера относительно контралатеральной молочной железы и передней грудной стенки

деры с встроенным металлическим портом, используемым для его наполнения. Для радиотерапевта такие модели экспандера представляют определённую сложность, так как металлический порт при выполнении компьютерной томографии даёт большое количество артефактов, затрудняющих визуализацию. Данные относительно возможного влияния этих артефактов на однородность рассчитываемого дозового распределения весьма противоречивы, и не в последнюю очередь по причине использования различных методик дозиметрии.

Так, M. Zabihzadeh et al в своей работе продемонстрировали увеличение дозы примерно на 15 % в точке перед портом и снижение дозы примерно на 10 % на глубине 5 см от порта при моделировании методом Монте-Карло [12]. В рамках работы С. Chatzigiannis et al также применялся метод Монте-Карло, и в процессе симуляции было выявлено, при облучении с двух тангенциальных полей недостаток дозы в точке в зоне артефакта составит 7–13 % при использовании фотонного излучения 6 МВ и 6 % при применении 18 МВ [13].

R. Thompson и A. Morgan выполнили диодную дозиметрию на водном фантоме и выявили снижение локальной дозы на 30 % при облучении с одного поля. При применении двух тангенциальных полей снижение дозы составило примерно 10 %. [14]. S. Srivastava et al при дозиметрии с применением водного фантома в малой ионной камере также выявили изменение дозового распределения в 5–20 % при облучении фотонами, обусловленное присутствием металлического порта [15].

J. Moni et al не выявили значительной гетерогенности дозового распределения вокруг металлического порта, увеличения дозы на поверхности экспандера и возникновения дозового максимума из-за металлического порта экспандера по данным термолюминисцентной дозиметрии [16]. Аналогичные результаты получены в работе B. Strang et al – по результатам термолюминисцентной дозиметрии также была показана неизменность дозового распределения вокруг экспандера [17].

H. Gee et al проводили *in vivo* дозиметрию с помощью радиохромных плёнок и выявили снижение дозы на поверхности кожи в среднем на 7 % в зоне артефактов при лечении с применением двух тангенциальных полей излучения 6 МВ [18]. S. Damast et al в рамках своей работы применяли как *ex vivo*, так и *in vivo* плёночную дозиметрию. В первом случае было выявлено снижение дозы на 22 % на глубине 22 мм при облучении с одного поля энергией 6 МВ и на 16 % при облучении с одного поля энергией 15 МВ. Плёночная дозиметрия *in vivo*, проведенная при лечении пациентки с применением излучения 15 МВ, показала сходные результаты с дозиметрией *ex vivo*, в то время как термолюминисцентная дозиметрия, проведенная у 6 других пациенток, показала меньшую вариабельность дозы (86–101 % от предписанной дозы) [19]. Наконец, M.F. Da Silva et al провели облучение акрилового фантома с помещённым внутрь экспандером, наполненным до объёма 400 мл, с двух тангенциальных полей 90° и 270° излучением 6 МВ в разовой дозе 2 Гр и выявили путём дозиметрии с применением

радиохромных плёнок, что снижение дозы на 14 % наблюдалось только в зоне тени от металлического порта [20].

Таким образом, наглядно продемонстрировано, что в случае установленного экспандера с металлическим портом необходимо принять меры, направленные на коррекцию возникающей негомогенности изодозного распределения в зоне вокруг металлического порта. Одним из предлагаемых способов разрешения указанной проблемы является оконтуривание металлического порта как отдельной структуры в условиях планирующей системы с присвоением ему отдельной плотности. Так, в упоминаемой ранее работе R. Thompson и A. Morgan порту вручную присваивалась плотность $7,9 \text{ г/см}^3$, но авторами данный подход был признан неэффективным [14]. В работе Trombetta et al металлическому порту была присвоена плотность 5 г/см^3 [21]. N. Mizuno et al в результате проведения дозиметрических исследований с применением радиохромных дозиметрических плёнок определили оптимальную физическую плотность порта как $9,8 \text{ г/см}^3$ [22].

S. Chen et al сравнили дозиметрические параметры лечебных планов, выполненных на одних и тех топометрических срезах. Всего было рассчитано три разных варианта с одними и теми же направлениями полей облучения и количеством мониторинговых единиц. В первом случае коррекция гетерогенности не проводилась, во втором – металлическому порту и артефактам вокруг него присваивалась плотность, эквивалентная таковой у мягких тканей, и в третьем – металлическому порту присваивалась электронная плотность, сопоставимая с плотностью воды. При анализе полученных результатов было выявлено, что среднее процентное покрытие CTV было достоверно ниже в плане с присвоенной плотностью воды (среднее значение 87,7 %; диапазон 60,2–99,4 %). Это выявлено по сравнению с планом без коррекции (среднее значение 99,7 %; диапазон 99,6–99,7 %) и планом с присвоенной плотностью мягкой ткани (среднее значение 95,0 %; диапазон 81,4–99,1 %). В планах с присвоенной плотностью воды коэффициент негомогенности составил в среднем 0,14 (диапазон 0,10–0,22), в плане без коррекции – 0,09 (диапазон 0,05–0,14) и 0,10 (диапазон 0,07–0,16) в планах с присвоенной плотностью мягкой ткани [23].

Наконец, J. Yoon et al предложено оконтуривать металлический порт как отдельную структуру и сохранять его плотность таковой, как было определено программой оконтуривания. Таким образом объём структуры, соответствующей именно металлическому порту, уменьшается за счёт исключения артефактов, а рассчитанное изодозное распределение отличалось от фактического, измеренного с помощью термолюминисценции *in vivo*, в пределах 5 % [24].

В отделении радиотерапии НМИЦ Онкологии им. Н.Н. Блохина МЗ РФ для коррекции изодозного распределения проводится раздельное оконтуривание трёх структур:

- ✓ собственно металлического порта,
- ✓ высокоплотных артефактов, расположенных над и под портом;
- ✓ низкоплотных артефактов.

Металлический порт оконтуривается на ширине окна, соответствующего костной ткани (предустановленный режим Vertebrae) с сохранением плотности, определенной программой для оконтуривания.

Высокоплотные артефакты на КТ-изображениях визуализируются белым цветом и на ширине окна, соответствующего мягким тканям, сливаются с собственно портом. Соответственно, при оконтуривании данной структуры из неё необходимо исключать порт, а также кости и лёгочную ткань. Далее, указанной структуре присваивается значение, соответствующее мягким тканям, то есть 40 единиц Хаунсфилда.

Низкоплотные артефакты оконтуриваются на ширине окна, соответствующего мягким тканям (предустановленный режим Mediastinum), с исключением костной и лёгочной ткани. Данной структуре также присваивается значение, соответствующее мягким тканям (рис. 10–12).

Заключение

Больным с диагнозом рака молочной железы после выполнения одномоментной реконструктивно-пластической операции в первую очередь необходимо проведение комплексного лечения согласно клиническим рекомендациям с учётом стадии заболевания, гистологических и иммуноморфологических особенностей опухоли. Лучевой этап комплексного лечения содержит в себе ряд нюансов, касающихся

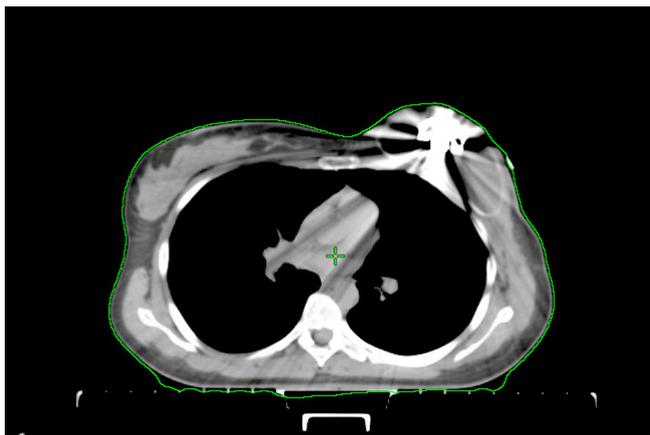


Рис. 10. Аксиальный срез КТ-исследования, выполненного в рамках топометрической подготовки. Обращает на себя внимание значительное количество артефактов от металлического порта экспандера в зоне предполагаемого объёма СТВ

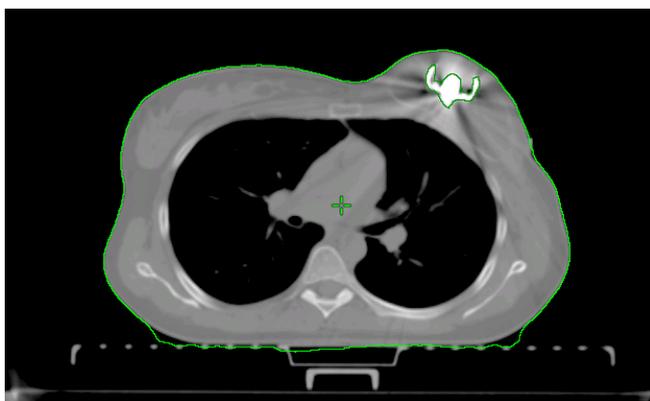


Рис. 11. Аксиальный срез КТ-исследования, выполненного в рамках топометрической подготовки. Создана отдельная структура, соответствующая металлическому порту (зелёный контур), ширина окна соответствует костной ткани (предустановленный режим Vertebrae)

проведения предлучевой топометрической подготовки и оконтуривания облучаемых объёмов. Их знание и грамотное применение позволяет провести лучевое лечение с сохранением его противоопухолевой эффективности и безопасности.

Выводы

1. Предлучевая топометрическая подготовка проводится на компьютерном томографе с использованием фиксирующих приспособлений (позиборд и подколеник). Рекомендуемая

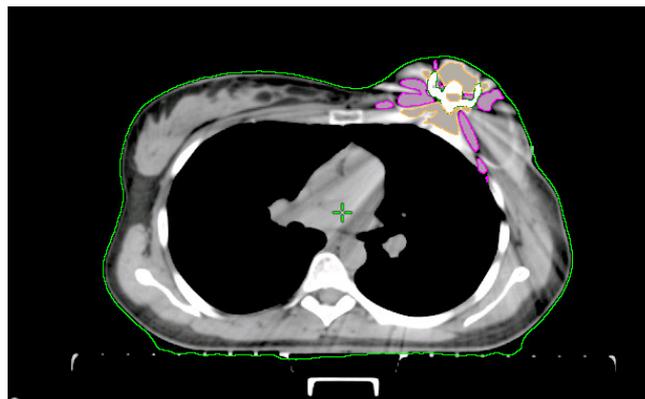


Рис. 12. Аксиальный срез КТ-исследования, выполненного в рамках топометрической подготовки. Созданы отдельные структуры, соответствующие низкоплотным (фиолетовый контур) и высокоплотным артефактам (жёлтый контур), присвоено значение 40 единиц Хаунсфилда, соответствующее мягким тканям, при изначальном значении (-160)–(-490) и 330–660 единиц Хаунсфилда соответственно. Ширина окна соответствует мягким тканям (предустановленный режим Mediastinum)

толщина среза составляет 5 мм. У пациенток с левосторонней локализацией опухоли и билатеральным поражением рекомендуется предлучевую подготовку и лечение проводить на глубоком вдохе под контролем системы отслеживания дыхательных движений.

2. Принятие решения об изменении наполненности экспандера должно быть строго персонализировано. Решение должно опираться на клиническую ситуацию, анатомические особенности пациентки, расположение экспандера относительно передней грудной стенки, степень его наполненности на момент предлучевой топометрической подготовки, а также на полученные в результате расчёта лечебного плана дозовые нагрузки на такие органы риска, как сердце, ипсилатеральное лёгкое и контралатеральная молочная железа.

3. Поскольку в настоящее время не существует отдельных рекомендаций по определению границ облучаемых объёмов для реконструированной молочной железы, следует в процессе оконтуривания руководствоваться таковыми для молочной железы, а именно:

- ✓ верхняя граница – нижний край грудиноключичного сочленения; при возможности соотнести с верхней границей контралатеральной молочной железы;
- ✓ нижняя – соответствует нижней границе контралатеральной молочной железы;

- ✓ передняя – на расстоянии 3–5 мм от поверхности кожи;
- ✓ задняя – большая грудная мышца, рёбра, межрёберные мышцы;
- ✓ латеральная – средняя аксиллярная линия, впереди от латеральной грудной артерии; при возможности соотнести с латеральной границей контралатеральной молочной железы;
- ✓ медиальная граница – перфорантные ветви внутренних грудных сосудов; при возможности соотнести с медиальной границей контралатеральной молочной железы.

4. В отдельных клинических ситуациях при раннем раке молочной железы рекомендуется пользоваться данными консенсуса ESTRO ACROP, которые предусматривают полное исключение экспандера или имплантата из объёма СТТ.

5. Рекомендуемый отступ на РТВ составляет 5–7 мм с отступом от кожи не менее 5 мм и с исключением грудины и лёгкого.

6. С целью коррекции негетерогенности изодозного распределения, возникающего в связи с наличием металлического порта в экспандере, проводится раздельное оконтуривание трёх структур, а именно:

- ✓ собственно металлический порт – оконтуривается на ширине окна, соответствующего костной ткани, с сохранением плотности, определенной программой для оконтуривания;
- ✓ высокоплотные артефакты – при оконтуривании данной структуры из неё необходимо исключается порт, костная и лёгочная ткани; присваивается плотность, соответствующая мягким тканям (40 единиц Хаунсфилда);
- ✓ низкоплотные артефакты – оконтуриваются на ширине окна, соответствующей мягким тканям, с исключением костной и лёгочной ткани и присвоением плотности, соответствующей мягким тканям (40 единиц Хаунсфилда).

Конфликт интересов отсутствует.

Список литературы

1. Овчинников МВ, Егоров ЮС. Радикальная мастэктомия с сохранением кожи. Современная онкология. 2014, № 3, С. 27–32. [Ovchinnikov MV, Egorov JuS. Radical mastectomy with preservation of the skin. Journal of Modern Oncology 2014; 3(16); 27–32. (In Russian)].
2. Исмагилов АХ, Хамитов АР, Ванесян АС. Современная картина реконструктивной хирургии при раке молочной железы. Опухоли женской репродуктивной системы. 2015, Т. 11, № 4, С. 25–34. [Ismagilov AK, Khamitov AR, Vanesyan AS. The current pattern of reconstructive surgery for breast cancer. Tumors of female reproductive system. 2015; 11(4): 25–34. (In Russian)] <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2015-11-4-25-34>.
3. Kamali P, Zettervall SL, Wu W, et al. Differences in the Reporting of Racial and Socioeconomic Disparities among Three Large National Databases for Breast Reconstruction. Plast Reconstr Surg. 2017 Apr; 139(4): 795–807. DOI: 10.1097/PRS.0000000000003207 PMID: 28350648.
4. Frasier LH, Holden S, Holden T et al. Temporal Trends in Post-Mastectomy Radiation Therapy and Breast Reconstruction. JAMA Oncol. 2016 Jan 1; 2(1): 95–101. DOI: 10.1001/jamaoncol.2015.3717. PMID: 26539936.
5. Chen SA, Hiley C, Nickleach D. et al. Breast reconstruction and post-mastectomy radiation practice. Radiat Oncol 2013; 8: 45. DOI: 10.1186/1748-717X-8-45. PMID: 23452558.
6. Veronesia P, De Lorenzic F, Ballardinia B, et al. Immediate breast reconstruction after mastectomy. Breast. 2011, 20(S3), P. S104–S107. DOI: 10.1016/S0960-9776(11)70305-8.
7. Woo KJ, Paik JM, Bang S I, et al. The Impact of Expander Inflation/Deflation Status During Adjuvant Radiotherapy on the Complications of Immediate Two-Stage Breast Reconstruction. Aesthetic Plastic Surgery, 2017; 41(3); 551–9. DOI: 10.1007/s00266-017-0864-5.
8. Celet OB, Guven E, Aslay I, et al. Does partial expander deflation exacerbate the adverse effects of radiotherapy in two-stage breast reconstruction? World J Surg Oncol. 2012 Feb 20; 10: 44. DOI: 10.1186/1477-7819-10-44. PMID: 22348433.
9. Kuerer HM, Cordeiro PG, Muter RW. Optimizing Breast Cancer Adjuvant Radiation and Integration of Breast and Reconstructive Surgery. 2017 ASCO Educational book.
10. White J, Tai A, Arthur D, Buchholz T, MacDonald S, Marks L, et al. Breast cancer atlas for radiation therapy planning: consensus definitions.

11. Kaidar-Person O, Vrou Offersen B, Hol S, et al. ESTRO consensus guideline for target volume delineation in the setting of postmastectomy radiation therapy after implant-based immediate reconstruction for early stage breast cancer. *Radiother Oncol.* 2019 Aug; 137: 159-66. DOI: 10.1016/j.radonc.2019.04.010. PMID: 31108277.
12. Zabihzadeh M, Ghahfarokhi M, Razmjoo-Ghalaei S, et al. Dose perturbation due to the magnetic port of tissue breast expander in patient undergoing the postmastectomy radiation therapy. *Biomed Pharmacol J.* 2016; 9: 285-91 DOI: <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/937>.
13. Chatzigiannis C, Lymperopoulou G, Sandilos P, et al. Dose perturbation in the radiotherapy of breast cancer patients implanted with the Magna-Site: a Monte Carlo study. *J Appl Clin Med Phys.* 2011; 12: 3295. DOI: 10.1120/jacmp.v12i2.3295 PMID: 21587170.
14. Thompson RC, Morgan AM. Investigation into dosimetric effect of a MAGNA-SITE tissue expander on ost-mastectomy radiotherapy. *Med Phys.* 2005; 32: 1640-6. DOI: 10.1118/1.1914545 PMID: 16013723.
15. Srivastava SP, Cheng CW, Andrews J, Das IJ. Dose perturbation due to metallic breast expander in electron and photon beam treatment of breast cancer. *J Radiat Oncol.* 2014; 3: 65-72. DOI: 10.1088/2057-1976/abc899 PMID: 34035189.
16. Moni J, Graves Ditman M, Cederna P, Griffith K, Krueger et al. Dosimetry around metallic ports in tissue expanders in patients receiving postmastectomy radiation therapy: an ex vivo evaluation. *Med Dosim.* 2004; 29: 49-54. DOI: 10.1016/j.meddos.2003.10.005. PMID: 15023393.
17. Strang B, Murphy K, Seal S, Cin AD. Does the presence of an implant including expander with internal port alter radiation dose? An ex vivo model. *Can J Plast Surg.* 2013; 21: 37-40. DOI: 10.1177/229255031302100109. PMID: 24431935.
18. Gee HE, Bignell F, Odgers D, et al. In vivo dosimetric impact of breast tissue expanders on post-mastectomy radiotherapy. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2016; 60: 138-45. DOI: 10.1111/1754-9485.12403 PMID: 26503758.
19. Damast S, Beal K, Ballangrud A, et al. Do metallic ports in tissue expanders affect post-mastectomy radiation delivery? *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2006; 66: 305-10. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2006.05.017 PMID: 16904530.
20. Da Silva M F, de Oliveira H F, Borges L F, et al. Effects of the Metallic Port in Tissue Expanders on Dose Distribution in Postmastectomy Radiotherapy. *Annals of Plastic Surgery,* 2018 Jan; 80(1): 67-70. DOI: 10.1097/sap.0000000000001177 PMID: 28671885.
21. Trombetta DM, Cardoso SC, Facure A, et al. Influence of the presence of tissue expanders on energy deposition for post-mastectomy radiotherapy. *PLoS ONE.* 2013; 8: e55430. DOI: 10.1371/journal.pone.0055430 PMID: 23405149.
22. Mizuno N, Takahashi H, Kawamori J, et al. Determination of the appropriate physical density of internal metallic ports in temporary tissue expanders for the treatment planning of post-mastectomy radiation therapy. *J Radiat Res.* 2018; 59(2); 190-7. DOI: 10.1093/jrr/rrx085 PMID: 29342302.
23. Chen SA, Ogunleye T, Dhabbaan A et al. Impact of internal metallic ports in temporary tissue expanders on postmastectomy radiation dose distribution. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2013; 85: 630-5. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2012.06.046 PMID: 22878127.
24. Yoon J, Xie Y, Heins D, et al. Modeling of the metallic port in breast tissue expanders for photon radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys,* 2018; 19(3); 205-14. DOI: 10.1002/acm2.12320 PMID: 29603586.

TOPOMETRIC PREPARATION AND CONTOURING IN RADIOTHERAPY PLANNING PATIENTS AFTER BREAST RECONSTRUCTION WITH SYNTETIC MATERIALS

*E.V. Timoshkina, O.P. Trofimova, V.V. Glebovskaya, M.V. Chernich, T.A. Krylova
N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia*

Purpose: Set out and substantiate basing on contemporary data and personal experience the key features and nuances of topometric preparation and contouring of the irradiated volumes when planning external beam radiation therapy in breast cancer patients after immediate reconstruction with usage of synthetic materials.

Materials and methods: In terms of this article are outlined the main provisions regarding topometric preparation, the need of expander deflation, the determination of irradiated volumes, and the effects of the metal port of the expander on the dose distribution.

Results: Evidence-based recommendations on the implementation of such stages of the technological chain of external beam radiation therapy, as topometric preparation and contouring of irradiated volumes in patients with breast cancer after immediate reconstruction with synthetic materials, are briefly presented.

Key words: *breast cancer, radiation therapy, topometric preparation, contouring, expander, metallic port*

E-mail: doctoretim@gmail.com