

ОПЫТ ЛЕЧЕНИЯ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ТУННЕЛЬНОГО ТИПА

А.С. Уваров^{1,2}, Е.В. Шиндякин^{1,2}, В.К. Платонов¹, М.В. Земко¹, Л.И. Галченко³

¹ Областной онкологический диспансер, Иркутск

² Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск

³ Иркутский государственный медицинский университет
Минздрава России, Иркутск

Цель работы: Описание особенностей дозиметрического планирования рака молочной железы и проведение анализа статистики результатов планирования облучения с учетом 2,5 летнего опыта работы на линейном ускорителе Halcyon в Иркутском областном онкологическом диспансере.

Материал и методы: Для облучения рака молочной железы использовались линейные ускорители туннельного типа Varian Halcyon и линейный ускоритель типа C-arm (C-дуга) Varian TrueBeam. Планирование облучения в системе планирования Eclipse, алгоритм расчета дозы Acuros XB. Представлен опыт использования указанного оборудования и наработки в области планирования облучения на аппарате Halcyon.

Результаты: Разработан подход к планированию облучения рака молочной железы на линейном ускорителе Halcyon. Проведен ретроспективный анализ 84 планов облучения на линейных ускорителях разных типов. Планы облучения рака молочной железы на линейном ускорителе Halcyon обладают сопоставимыми дозиметрическими параметрами, по сравнению с линейным ускорителем TrueBeam.

Заключение: При понимании особенностей работы системы планирования и системы подведения дозы, линейный ускоритель Halcyon, может быть использован для облучения рака молочных желез.

Ключевые слова: лучевая терапия, планирование облучения, молочная железа, линейный ускоритель Halcyon

DOI: 10.52775/1810-200X-2022-96-4-37-42

Введение

В 2014 г. в Иркутской области был установлен первый линейный ускоритель – Varian TrueBeam. До этого момента лечение происходило только на гамма-аппаратах на основе изотопа Co-60. В 2020 г. вместо аппаратов АГАТ Р1 и РОКУС-АМ было одновременно установлено 2 линейных ускорителя Varian Halcyon. Установка происходила без масштабной реконструкции, в существующие помещения. В на-

стоящее время ускорители данные линейные ускорители несут на себе основную лечебную нагрузку. Ежедневно на каждом аппарате лечение получают от 80 до 120 пациентов.

Согласно статистике нашего отделения, до 30 % от общего количества пациентов, проходящих лучевую терапию, составляют больные раком молочной железы. На рис. 1 представлена статистика пролеченных пациентов за 2022 г. (10 мес.).

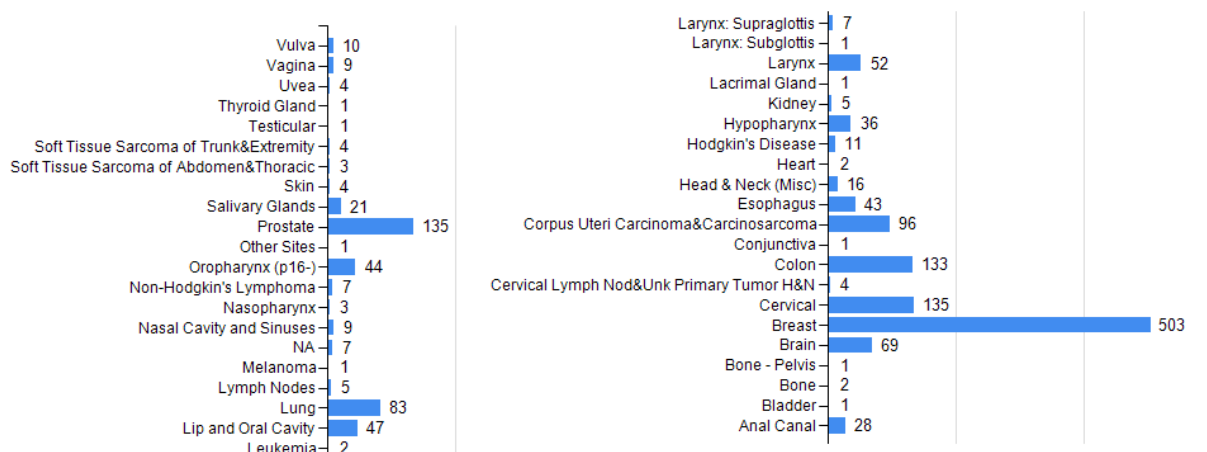


Рис. 1. Статистика распределения пациентов за 2022 год

Несмотря на то, что имеется вполне обоснованное мнение в профессиональной среде радиотерапевтов и медицинских физиков, что лечение рака молочной железы необходимо проводить только в статических режимах на ускорителях типа C-ARM, при запуске двух линейных ускорителей Halcyon стояла задача равномерного распределения нагрузки между всеми единицами техники. В сложившихся условиях необходимо было сформировать подход к планированию сложных локализаций, таких как молочная железа, обеспечивающий максимальное использование возможностей имеющейся техники.

Материал и методы

В практике нашей клиники облучения рака молочной железы применяются все доступные методики облучения: 3D-CRT, IMRT, VMAT. Выбор методики облучения происходит исходя из геометрии мишени, анатомических особенностей пациента, используемого линейного ускорителя.

Базовой методикой облучения рака молочной железы является трехмерная конформная лучевая терапия, то есть использование статических полей с многолепестковым коллиматором (МЛК). Номинальные энергии пучков излучения 6 и 10 МВ. Данная методика облучения производится в нашей клинике только на линейном ускорителе TrueBeam и является приоритетной ввиду стабильности дозиметрических параметров плана облучения, простоты реализации и контроля за подведением дозы.

Здесь стоит отметить, что в линейном ускорителе Halcyon используется пучок без выравнивающего фильтра, и его профиль имеет клиновидную форму. Для получения аналога классического статического поля используется выравнивание профиля поля за счет последовательности движения лепестков МЛК.

С дозиметрической точки зрения данного метода аналогично использованию IMRT. При этом количество мониторинговых единиц в плане с выравнивающей последовательностью и такого же плана, с модуляцией интенсивности различается незначительно.

Исходя из этого можно говорить, что полного аналога статическому полю в Halcyon нет. Поэтому при лечении всего объема молочной железы применяются методики tIMRT (IMRT с тангенциальным расположением полей).

Как правило, используются два поля облучения. Изоцентр располагается в объеме молочной железы. Угол поворота гантри выбирается индивидуально, исходя из геометрии мишени и прилежащих органов. При этом возможно добавление дополнительных полей с латерального или медиального направления с отклонением 10–15° от исходного поля для компенсации неравномерности покрытия.

Задача серьезно усложняется при облучении грудной стенки и путей лимфотока. Сложная геометрия и большая протяженность мишени, а также близость критических органов шейной области повышают требование к плану облучения. В поисках системного решения данной задачи в различных литературных источниках [1, 2] был найден метод VMAT с исключением секторов. В приведенной статье метод ис-

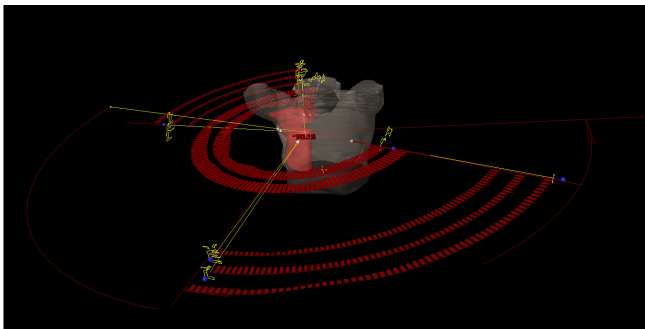


Рис. 2. Облучение узкими секторами

пользовался для лечения левой молочной железы. Особенность метода состоит в облучении в режиме VMAT узкими ограниченными тангенциальными секторами (tVMAT). На рис. 2 трехмерная реконструкция расположения пучков облучения.

В статье использовалось разделение полей на уровни лимфоузлов и грудной стенки с помощью вторичного коллиматора. В случае с Halcyon такой вариант невозможен. Как альтернативный метод было использовано ограничение движения лепестков МЛК по оси X при повороте коллиматор на 90°. Это позволяет добавить дополнительные пучки на область лимфоузлов и снизить дозу на плечевой сустав, ограничивая при этом вклад дозы с данного пучка на область грудной клетки.

На рис. 3 и 4 приведено сравнение распределения VMAT (2 сектора по 240°) и tVMAT (6 тангенциальных секторов 50–70°, и один сектор 240° на лимфоузлы с ограничением движения лепестков МЛК по оси X). Достаточно хорошо отображена разница в градиенте дозы и снижение нагрузки на противоположную молочную железу, легкое и сердце.

Для создания распределения дозы в объеме PTV, выходящем за пределы объема тела, было введено использование виртуального болуса с заданной плотностью 550 HU [3, 4]. Это позволило использовать методики IMRT и VMAT с учетом возможных изменений формы груди и дыхания пациента.

В рамках данной работы было проведено статистическое сравнения результатов дозиметрического планирования лечения рака молочной железы для линейных ускорителей Halcyon и TrueBeam. При этом оценка производилась ретроспективно, по усредненным показателям планирования от всех медицинских физиков отделений радиотерапии. Все данные

разделены на категории, по следующим критериям – тип линейного ускорителя, методика доставки дозы, суммарная доза, режим фракционирования, наличия в объеме облучения путей лимфотока, сторона расположения опухоли. Статистика собиралась за октябрь и ноябрь 2022 г. Выделено две основных выборки.

Первая выборка – пациенты после органосохранной операции без включения путей лимфотока в объем облучения. Объем мишени составляет только молочная железа. Критические органы – сердце, левое и правое легкое, противоположная молочная железа.

Режим фракционирования: разовая доза 2,67 Гр, количество фракций 15, суммарная доза 40,05 Гр.

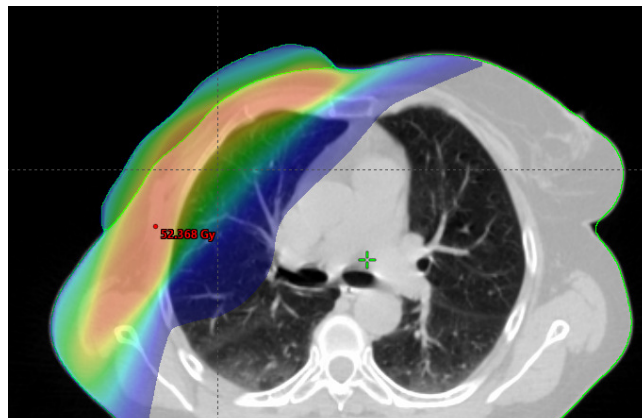


Рис. 3. Дозное распределение VMAT, 2 сектора по 240 градусов

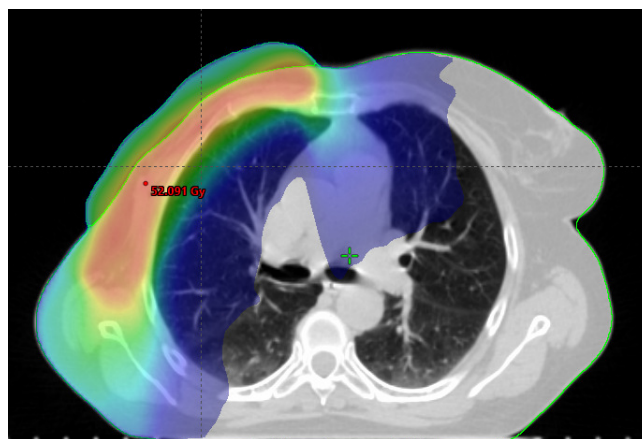


Рис. 4. Дозное распределение tVMAT, 6 тангенциальных секторов 50-70 градусов, и один сектор 240 градусов на лимфоузлы с ограничением движения лепестков МЛК по оси X. Сравнение tVMAT и VMAT

Клинические цели

98 % объема PTV должно получать 38 Гр. Допустимо облучение 95 % объема PTV дозой 38 Гр. Доза, получаемая 2 % объема, не должна превышать 42 Гр. Допустимо облучение 2 % объема PTV дозой 42,85 Гр. Максимум дозы не должен превышать 110 %.

Сердце: Средняя доза не должна превышать 3,2 Гр (допустимо 4 Гр). Объем, облучаемый 8 Гр, не должен превышать 30 % (допустимо 35 %) для левостороннего расположения и 10 % для правостороннего. Объем, облучаемый 16 Гр (допустимо 20 Гр), не должен превышать 5 % для левостороннего расположения и 0 % для правостороннего.

Близлежащее легкое: Объем облучаемый 16 Гр, не должен превышать 15 % (допустимо 20 %). Объем, облучаемый 8 Гр, не должен превышать 35 % (допустимо 40 %). Объем, облучаемый 4 Гр, не должен превышать 50 % (допустимо 55 %).

Противоположное легкое: Объем, облучаемый 4 Гр, не должен превышать 10 % (допустимо 15 %).

Противоположная молочная железа: Максимум дозы не должен превышать 5 Гр. Объем, облучаемый 4,1 Гр, не должен превышать 5 %.

Всего в данной выборке участвовало 34 пациента. При этом 16 из них лечилось на Truebeam и 18 на Halcyon. В табл. 1 и 2 представлены статистические данные планирова-

ния лечения рака левой и правой молочной железы соответственно.

Следующая категория — это планы с облучением объема молочной железы и путей лимфотока. При этом объем облучения включает в себя область молочной железы с объемом подмышечных, надключичных и подключичных лимфоузлов.

Критические органы – сердце, левое и правое легкое, противоположная молочная железа. Режим фракционирования: разовая доза 2 Гр, количество фракций 25, суммарная доза 50 Гр.

Клинические цели

98 % объема PTV должно получать 47,5 Гр. Допустимо облучение 95 % объема PTV дозой 47,5 Гр. Доза, получаемая 2 % объема, не должна превышать 52,5 Гр. Допустимо облучение 2 % объема PTV дозой 53,5 Гр. Максимум дозы не должен превышать 110 %.

Сердце: Средняя доза не должна превышать 4,3 Гр (допустимо 5 Гр). Объем, облучаемый 25 Гр, не должен превышать 10 %.

Близлежащее легкое: Объем, облучаемый 5 Гр, не должен превышать 70 %. Объем, облучаемый 20 Гр, не должен превышать 30 %.

Противоположное легкое: Объем, облучаемый 5 Гр, не должен превышать 10 % (допустимо 15 %).

Противоположная молочная железа: Объем, облучаемый 4,1 Гр, не должен превышать 5 %.

Таблица 1

Нагрузка на критические структуры при лечении рака левой молочной железы

Linac	Сердце				Левое легкое			Правое легкое	Правая молочная железа	
	Ср. доза	V _{8Гр}	V _{16Гр}	V _{20Гр}	V _{4Гр}	V _{8Гр}	V _{16Гр}	V _{4Гр}	D _{0,1cc}	V _{4Гр}
Halcyon IMRT	3,08	6,01	3,71	3,04	30,33	18,00	13,33	0,00	4,08	0,00
Truebeam IMRT	4,38	13,13	6,43	5,17	42,67	27,00	18,00	0,00	4,40	0,36
Truebeam VMAT	4,32	12,50	6,56	5,15	42,00	26,50	18,00	0,00	4,47	3,04

Таблица 2

Нагрузка на критические структуры при лечении рака правой молочной железы

Linac	Сердце				Правое легкое			Левое легкое	Левая молочная железа	
	Ср. доза	V _{8Гр}	V _{16Гр}	V _{20Гр}	V _{4Гр}	V _{8Гр}	V _{16Гр}	V _{4Гр}	D _{0,1cc}	V _{4Гр}
Halcyon IMRT	1,07	0,00	0,00	0,00	31,17	20,50	14,12	0,00	3,08	0,57
Truebeam IMRT	1,06	0,00	0,00	0,00	48,33	35,67	28,00	1,00	5,56	0,00

Таблица 3

Нагрузка на критические структуры при лечении рака левой молочной железы

Лин. ускоритель	Сердце		Левое легкое		Правое легкое	Правая молочная железа
	Ср. доза	V _{25Гр}	V _{5Гр}	V _{20Гр}	V _{5Гр}	V _{4Гр}
Halcyon IMRT	5,10	4,02	56,04	22,60	0,30	5,42
Halcyon VMAT	4,57	3,03	52,00	18,00	3,39	11,12
Truebeam VMAT	5,59	1,52	60,00	25,00	5,98	10,17

Таблица 4

Нагрузка на критические структуры при лечении рака правой молочной железы

Лин. ускоритель	Сердце		Правое легкое		Левое легкое	Левая молочная железа
	Ср. доза	V _{25Гр}	V _{5Гр}	V _{20Гр}	V _{5Гр}	V _{4Гр}
Halcyon IMRT	2,21	0,00	55,58	22,33	0,20	6,26
Halcyon VMAT	2,58	0,00	53,67	20,67	3,25	18,79
Truebeam IMRT	2,16	0,00	64,00	22,00	0,00	4,18

Всего в данной выборке участвовало 50 пациентов. При этом 18 из них лечилось на Truebeam и 32 – на Halcyon. В табл. 3 и 4 представлены статистические данные планирования лечения рака левой и правой молочной железы соответственно.

Результаты исследования

По результатам анализа статистических данных планирования выявлены определенные тенденции. Уровни дозовых нагрузок на критические структуры в планах для Halcyon находятся на сопоставимых уровнях, а в части случаев ниже, чем на ускорителе TrueBeam. Важно отметить, что полученные данные также помогают оценить статистику выполнения параметров клинических целей и, в некоторых случаях, внести изменения в систему оценки планов. Так в результате обработки данных был выявлена необходимость добавления дополнительных критериев нагрузки на сердце при облучении правой молочной железы совместно с лимфоузлами. Изменения были внесены, и дальнейшая оценка качества планов будет учитывать этот параметр. Закреплен уровень прохождения по средней дозе на сердце в 1 Гр, с допустимым уровнем в 1,5 Гр.

В процессе работы и освоения оборудования постепенно сформировался набор инструментов и методик для реализации и расчетов планов облучения рака молочной железы. Активно использовались такие инструменты, как

компенсатор поверхности, ограничение движения лепестков по оси X и инструменты по воздействию на степень модуляции.

Для улучшения распределения дозы были введены методики tIMRT и tVMAT. Суть методов заключается в ограничении геометрии расположения пучков. Это позволило снизить объемы средних и низких доз при облучении рака молочной железы.

Так же произведена адаптация процесса по подготовке и проведению лучевой терапии рака молочной железы учетом особенности ускорителя туннельного типа. По результатам исследования сделан вывод, что на ускорителе Halcyon возможно лечение рака молочной железы в соответствии современными протоколами лучевой терапии. При этом дозиметрические характеристики планов облучения находятся на сопоставимом, а иногда и на более высоком уровне, чем на ускорителе классической компоновки.

Заключение

Лечение рака молочной железы на ускорителе туннельного типа требует определенной адаптации. При этом использование различных инструментов и особенностей оборудования позволяет решать все поставленные клинические задачи. При этом важен контроль подготовки и проведения лучевой терапии на всех этапах. Необходимо принять во внимание, что результаты планирования и лечения зави-

сят не только используемого оборудования, а являются совокупностью технических возможностей, опыта и квалификации специалистов отделения радиотерапии.

Список литературы

1. Zamora P. Tangential Volumetric Modulated Arc Therapy for Locally Advanced Breast Cancer. *Practical Radiation Oncology*. 2022; 12(4): 339-4. DOI:10.1016/j.prro.2021.11.009.
2. Pei-Chieh Yu. Tangent-based volumetric modulated arc therapy for advanced left breast cancer. *Radiat Oncol*. 2018; 13(1): 236. DOI: 10.1186/s13014-018-1167-y.
3. Lizondo M. Pseudo skin flash on VMAT in breast radiotherapy: Optimization of virtual bolus thickness and HU values. *Phys Med*. 2019; 63: 56-62. DOI: 10.1016/j.ejmp.2019.05.010.
4. Tyran M. Safety and benefit of using a virtual bolus during treatment planning for breast cancer treated with arc therapy. *J Appl Clin Med Phys*. 2018; 19(5): 463-72. DOI: 10.1002/acm2.12398.

EXPERIENCE IN THE TREATMENT OF BREAST CANCER USING TUNNEL TYPE LINEAR ACCELERATOR

A.S. Uvarov^{1,2}, E.V. Shindiakin^{1,2}, V.K. Platonov¹, M.V. Zemko¹, L.I. Galchenko³

¹ Irkutsk Regional Cancer Center, Irkutsk, Russia

² A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

³ Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia

Purpose: Describes the features of dosimetric planning for breast cancer and conducts statistics analysis of the radiation treatment planning results, while taking into account 2.5 years of work experience on the Halcyon linear accelerator at the Irkutsk Regional Cancer Center.

Materials and methods: Varian Halcyon tunnel type linear accelerator and Varian TrueBeam C-arm linear accelerator were used for breast irradiation. Treatment planning was performed in the Eclipse planning system, Acuros dose calculation algorithm. The experience of using the specified equipment and developments in the field of radiation treatment planning using the Halcyon system are presented.

Results: Developed an approach to planning breast radiation at the Halcyon linear accelerator. A retrospective analysis of 84 radiation treatment plans on linear accelerators of various types was carried out. Breast treatment plans for Halcyon linear accelerator have equal dosimetric parameters in comparison to the TrueBeam treatment plans.

Conclusion: Linear accelerator Halcyon can be used for treating breast cancer if staff understands specifics of treatment planning and treatment delivery.

Key words: *radiotherapy, treatment planning, breast, linear accelerator Halcyon*

E-mail: tilo2k@gmail.com