

ОПЫТ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ПАЦИЕНТОВ СО ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОПЛАНАРНЫХ УГЛОВ VMAT

С.Н. Букша, Ю.Ю. Ионкова

Ставропольский краевой клинический онкологический диспансер, Ставрополь

Цель: Оценка возможности методики планирования некопланарного VMAT (объемно-модулированной терапии арками) реализовать целевые клинические дозы для повышения вероятности контроля опухоли у пациентов, страдающих раком предстательной железы, при одновременном снижении лучевой нагрузки на органы риска.

Материал и методы: В исследование включены 12 пациентов раком предстательной железы низкого, промежуточного и высокого риска прогрессирования. Планирование для шести пациентов проводилось с использованием копланарной техники VMAT. Для второй группы также из шести пациентов использовались некопланарные VMAT.

Результаты: Реализуемые планы показали, что применение некопланарных полей VMAT терапии позволяет значительно снизить дозы в органах риска. Снижение средней дозы на головки бедренных костей составило 46,6 %.

Заключение: Исследование продемонстрировало преимущества нестандартного подхода к лечению пациентов с помощью метода некопланарным VMAT. Метод позволяет значительно снизить дозы в органах риска в соответствии с индивидуальной спецификой каждого пациента по сравнению с обычным VMAT. Это снижает риск токсичности, связанной с лечением.

Ключевые слова: рак предстательной железы, лучевая терапия, VMAT, некопланарные поля, симультанный интегрированный буст

DOI: 10.52775/1810-200X-2022-94-2-27-32

Введение

В настоящее время одним из ведущих методов радикального лечения пациентов со злокачественными новообразованиями предстательной железы является лучевая терапия, позволяющая достигать пятилетней безрецидивной выживаемости более 90 %. Современные методики лучевой терапии позволяют с высокой точностью подводить высокие дозы к опухоли. Это делает особенно актуальным во-

прос качества жизни пациентов, получивших лучевое лечение.

Пациенты, страдающие раком предстательной железы, как правило, относятся к возрастной категории старше 60 лет, многие из них длительно получают гормональную терапию, имеют снижение плотности костной ткани. Снижение доз облучения на головки бедренных костей при планировании лучевого лечения позволяет уменьшить вероятность тяжелых инвалидизирующих поздних осложнений со стороны этих органов риска.

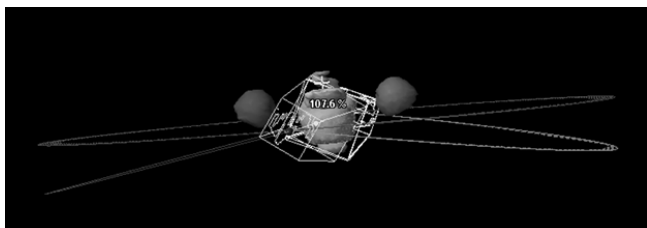


Рис. 1. Примеры геометрии некопланарных планов для локального облучения

Цель работы – оценка возможности методики планирования некопланарного VMAT для области малого таза реализовать целевые клинические дозы для повышения вероятности контроля опухоли у больных раком простаты при одновременном снижении лучевой нагрузки на органы риска.

Потенциал некопланарных углов пучка для увеличения дозовой согласованности установлен давно [1] (рис. 1). Методика дает возможность значительно более конформно распределить клиническую дозу, чем традиционные методы планирования VMAT.

Материал и методы

В исследование включены 12 пациентов раком предстательной железы низкого, промежуточного и высокого риска прогрессирования. Возраст пациентов колебался от 62 до 80 лет. Средний возраст составил 69 лет.

Для 6 пациентов планирование проводилось с использованием копланарной техники VMAT с системой планирования лечения Eclipse (версия 15.8, VarianMedicalSystems, Пало-Альто, Калифорния, США), при реализации которой в зависимости от расположения целевого объема выбирались две полные копланарные арки.

Для второй группы также из 6 пациентов использовались некопланарные VMAT. В этом случае из двух полных арок использовалась только одна полная арка, при этом угол гантри составлял 181° – 179° , положение стола 0° . Вторая модифицировалась – разбивалась на две арки: с углами 179° – 0° , положение стола 350° и угол гантри 0° – 181° , положение стола 10° , соответственно. Энергия пучка, мощность дозы и модель MLC были такими же, как и в первых, стандартных планах для каждого пациента, а именно :10X-FFF, 600 ME/мин и HD 120 MLC.

У пациентов низкого риска прогрессирования в объем облучения включались: предстательная железа, одна треть семенных пузырьков и парапростатическая клетчатка. Применялись разовые дозы 2,5 Гр до суммарной очаговой дозы 74,0 Гр по изоэффекту (число ВДФ=122).

У пациентов промежуточного и высокого риска прогрессирования также облучению подвергались тазовые лимфоузлы. При этом облучение проводилось с применением методики симультантного интегрированного буста. В этом случае разовая очаговая доза на предстательную железу, семенные пузырьки, клетчатку составляла 3,0 Гр, на тазовые лимфоузлы соответственно 2,2 Гр.

Суммарная очаговая доза за 20 фракций подводилась на предстательную железу и составила 74,0 Гр. Доза на пути лимфооттока составила 46,0 Гр по изоэффекту (число ВДФ=76).

Традиционно использование методики симультантного интегрированного буста (рис. 2) даёт возможность одновременного воздействия на первичную опухоль и зоны регионарного метастазирования. При этом сокращается общее количество фракций за весь курс лечения, что в свою очередь снижает риски незапланированных перерывов в курсах лечения. Сокращается нагрузка на оборудование и персонал, а также, что немаловажно в условиях пандемии, сокращает сроки лечения и пребывания пациента в лечебном учреждении [2].

Клинический объем облучения (CTV) был определен с использованием изображений компьютерной томографии с применением стандартных отступов при планировании, к которо-

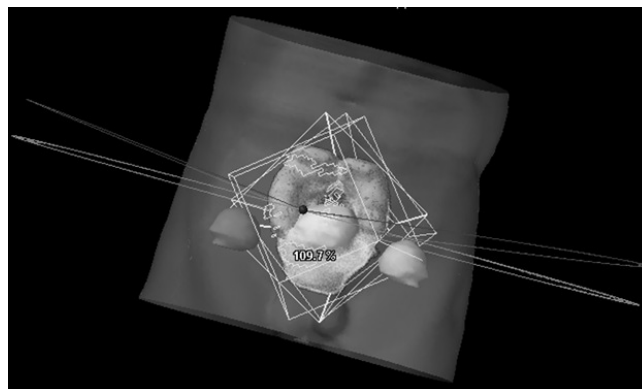


Рис. 2. Методики симультантного интегрированного буста

му было добавлено расширение 2 мм для определения целевого объема планирования (PTV).

По умолчанию изоцентр для реализуемых планов размещается в центре объема PTV. Однако допустимые местоположения изоцентров ограничены определенной зоной защиты пациента для снижения риска столкновения элементов ускорителя.

Эмпирически были установлены предельные значения поворота стола для реализации некопланарных полуарок в максимальных значениях до 7° вниз от изоцентра PTV и до 10° вверх от изоцентра по отношению к пациенту. При этом пациент занимает положение на спине, головой к аппарату.

Оптимальный угол коллиматора для каждого поля выбирался на основе местоположения цели и органов риска при визуализации различных углов пучка, а также для минимизации утечки [3].

Цель планирования состояла в том, чтобы минимизировать поглощенные дозы в критических органах (OR) в сравнении с обычным планом, сохраняя при этом целевое покрытие PTV.

Результаты и обсуждение

Средние дозы в целевых объемах и максимальные дозы в органах риска сравнивались для двух типов планов по следующим параметрам:

- ✓ средняя доза на критические органы ;
- ✓ уровень 100 % изодозы был определен как доза до 95 % от PTV для планов обоих типов.

В группе пациентов, получивших лечение с использованием стандартных планов VMAT, средняя доза на головки бедренных костей за весь курс лечения составила 23,8 Гр. В группе пациентов, получивших лечение с использова-

нием некопланарных планов, средняя доза на головки бедренных костей 12,7 Гр.

Реализуемые планы продемонстрировали значительное снижение дозы на определенные органы риска при применении некопланарных полей VMAT. Так, снижение средней дозы на головки бедренных костей составило 46,6 %. Это позволяет значительно уменьшить риск поздней радиотоксичности, не снижая контроль опухоли.

В целом исследуемый метод планирования лечения обеспечивает конформное распределение доз со значительным уменьшением дозы в органах риска по сравнению с традиционными планами и с сопоставимыми дозами в целевом объеме. Это показано на гистограммах доза-объем и распределении доз (рис. 3) для одного репрезентативного пациента в исследовании.

Результаты, представленные на рис. 3, 4, показывают, что лечение с использованием некопланарных планов VMAT может значительно снизить дозу в органах риска. В частности, снижается доза в головках бедренных костей по сравнению с обычным (с двумя копланарными арками) VMAT при той же канцерцидной дозе в опухоли. Это отражено в табл. 1, 2. В табл. 1: режим облучения для пациентов низкого риска прогрессирования составил разовые дозы 2,5 Гр за 26 фракций до суммарной очаговой дозы 65 Гр, 74,0 изоГр, число ВДФ=122.

У пациентов промежуточного и высокого риска прогрессирования в зону облучения включались тазовые лимфоузлы. Облучение проводилось с применением методики симультантного интегрированного буста (табл. 2). Разовая очаговая доза на предстательную железу, семенные пузырьки, клетчатку составила 3,0 Гр, на тазовые лимфоузлы – 2,2 Гр. Суммар-

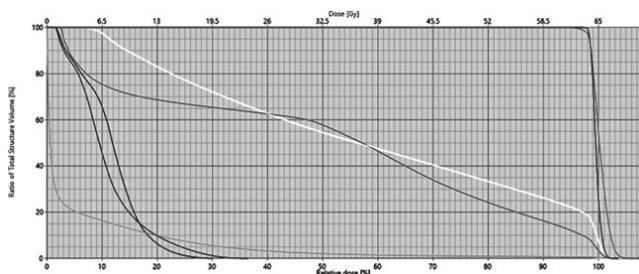


Рис. 3. DVH для некопланарного VMAT при локальном облучении предстательной железы

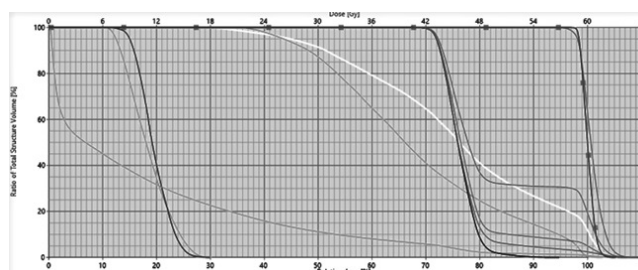


Рис. 4. DVH для некопланарного VMAT при облучении методикой симультантного интегрированного буста (SIB)

Таблица 1

Значения доз на критические органы при локальном облучении предстательной железы. Некопланарные углы VMAT

Органы и структуры	Средняя доза, Гр
СТV	65,2
Прямая кишка	32,8
Мочевой пузырь	37,4
Головка бедренной кости левая	6,9 (D_{\max} 23,8)
Головка бедренной кости правая	7,5 (D_{\max} 19,6)

Таблица 2

Значения доз на критические органы при облучении предстательной железы по методике симульгантного интегрированного буста. Некопланарные углы VMAT

Органы и структуры	Средняя доза, Гр
СТV + 1,0 см (post + 0,7 см)	60,5
Тазовые л/узлы+0,7 см	45,7
Прямая кишка	39,0
Мочевой пузырь	45,6
Головка бедренной кости левая	11,1 (D_{\max} 18,2)
Головка бедренной кости правая	11,7 (D_{\max} 18,0)

ная очаговая доза за 20 фракций на предстательную железу, клетчатку, семенные пузырьки составила 60 Гр или 74,0 изоГр, число ВДФ=122; на пути лимфооттока 44 Гр, или 46 изоГр, число ВДФ=76.

В табл. 3 приведены значения доз при планировании эскалационного облучения предстательной железы с использованием копланарной техники VMAT у пациентов групп промежуточного и высокого риска прогрессирования. Разовая очаговая доза на предстательную железу, семенные пузырьки, клетчатку, на тазовые лимфоузлы составила 2,5 Гр. Суммарная очаговая доза за 17 фракций 42,5 Гр или 48 изоГр, число ВДФ 79. Затем последовательный буст на предстательную железу, семенные пузырьки и клетчатку разовыми дозами 3,0 Гр за 7 фракций до суммарных доз 63,5 Гр или 74,0 изоГр, число ВДФ=122.

Для определения дозовой нагрузки в органах риска использовались параметры биоло-

Таблица 3

Значения доз на критические органы при эскалационном облучении предстательной железы. Копланарная техника VMAT

Органы и структуры	Средняя доза, Гр
СТV + 1,0 см	63,7
Тазовые л/узлы+0,7см	42,9
Прямая кишка	45,3
Мочевой пузырь	42,9
Головка бедренной кости левая	22,3 (D_{\max} 38,4)
Головка бедренной кости правая	22,5 (D_{\max} 35,7)

гической оптимизации gEUD [6, 7], выбранные значения которой отвечали требованиям целевого покрытия. Использование gEUD при планировании позволяет достаточно правильно оценить влияние гомогенной дозы на гетерогенный объем, тем самым выполнять непосредственно в процессе планирования все клинические задачи. В частности, в рамках этого исследования особо контролировалась лучевая нагрузка на прямую кишку, а именно доза в области максимальных значений дозы в пределах ее передней стенки.

Тем не менее, для более осознанного использования оптимизации на основе EUD в представленных значениях дозовой нагрузки на органы риска и придания смысла дозе gEUD по отношению к конкретному параметру каждого конкретного органа всегда необходима клиническая оценка радиотоксичности для пациента, которую объективно может оценить только лечащий врач.

Методика планирования некопланарным VMAT была первоначально разработана как технология VMAT для моноизоцентрической стереотаксической радиохирургии (SRS) множественных метастазов в головном мозге. SRS стала широко используемой альтернативой облучения головного мозга при лечении множественных метастазов. Ее эффективность была продемонстрирована при облучении до десяти очагов поражения на план [2–4]. Этот подход позволил не только более эффективно проводить внутрочерепное облучение, но и обеспечить более конформное распределение доз по сравнению с традиционными планами VMAT [5, 6].

Некопланарное облучение реже используется при экстракраниальной лучевой терапии из-за опасений столкновения подвижной

части облучателя (гантри) с телом пациента или лечебным столом. Однако имеющиеся существенные дозиметрические преимущества методики некопланарного планирования заставляют задуматься о поиске возможностей преодоления трудностей реализации этих планов. Столкновение подвижной части излучателя с пациентом и/или лечебным столом предотвращается за счет эмпирически апробированных максимальных углов поворота терапевтического стола ускорителя.

Вместе с тем, несмотря на большой объем облучаемых тканей и особенности расположения изоцентра при применении симультантного интегрированного буста, нам удалось успешно реализовать всю вышеописанную методику в сочетании с некопланарным VMAT. При этом зарегистрировано существенное снижение лучевой нагрузки на головки бедренных костей. Это вызывает большой интерес в дальнейшем изучении применения некопланарного облучения в сочетании с возможностями симультантного интегрированного буста [8, 9].

Заключение

Исследование продемонстрировало возможности нестандартного подхода к лечению больных раком предстательной железы. Планирование облучения осуществлялось с помощью техники некопланарных полей VMAT. Эта методика обеспечивает значительное снижение дозы в органах риска в соответствии с индивидуальной спецификой каждого пациента при достижении аналогичных доз в PTV по сравнению с обычным VMAT. В свою очередь это снижает риск выраженных отдаленных лучевых повреждений.

Список литературы

1. Ткачев СИ, Плебовская ВВ, Расулов АО, Царюк ВФ, Алиев ВА, Водяник ВВ. Современные технологии лучевой терапии: IMRT, VMAT с использованием симультантного интегрированного буста (SIB) в комплексном лечении плоскоклеточного рака анального канала. Современная онкология. 2014. №2. С. 60-5 [Tkachev SI, Glebovskaya VV, Rasulov AO, Tsaryuk VF, Aliev VA, Vodyanik VV. Modern radiotherapy technologies: IMRT, VMAT using simultaneous integrated boost (SIB) in the complex treatment of squamous cell carcinoma of the anal canal. Modern oncology. 2014; (2): 60-5 (In Russian)].
2. Ohira S, Sagawa T, Ueda Y, et al. Effect of collimator angle on HyperArc stereotactic radiosurgery planning for single and multiple brain metastases. Med. Dosim. 2020: 85-91.
3. Yamamoto M, Serizawa T, Shuto T, et al. Stereotactic radiosurgery for patients with multiple brain metastases (JLKG0901): A multi-institutional prospective observational study. Lancet Oncol. 2014: 387-95.
4. Ohira S, Ueda Y, Akino Y, et al. HyperArc VMAT planning for single and multiple brain metastases stereotactic radiosurgery: A new treatment planning approach. Radiat Oncol. 2018; 13: 1-9.
5. Ruggieri R, Naccarato S, Mazzola R, et al. Linac-based VMAT radiosurgery for multiple brain lesions: Comparison between a conventional multi-isocenter approach and a new dedicated mono-isocenter technique. Radiat Oncol. 2018; 13: 38-44.
6. Fogliata A, Thompson S, Stravato A, et al. On the gEUDbiological optimization objective for organs at risk in Photon Optimizer of Eclipse treatment planning system. Radiat Oncol. 2017; 19: 106-14.
7. Glicksman RM, et al. Elective pelvic nodal irradiation with a simultaneous hypofractionated integrated prostate boost for localized high risk prostate cancer: Long term results from a prospective clinical trial. Radiat Oncol. 2021; 163: 21-31.
8. Van Hulle H, et al. Acute toxicity and health-related quality of life after accelerated whole breast irradiation in 5 fractions with simultaneous integrated boost. Breast. 2021; 55: 105-11.
9. Li S, et al. Simultaneous integrated boost intensity-modulated radiation therapy can benefit the locally advanced rectal cancer patients with clinically positive lateral pelvic lymph node. Front Oncology. 2021; 22(10): 627572.

EXPERIENCE OF RADIATION THERAPY USING NON-COPLANAR FIELDS ANGLES VMAT IN THE IMPLEMENTATION OF RADIOTHERAPY FOR PROSTATATA CANCER PATIENTS*S.N. Buksha, Y.Y. Ionkova**Stavropol Regional Oncological Center, Stavropol, Russia*

Purpose: This study explored the non-coplanar VMAT planning technique for the pelvic area and its ability to achieve targeted clinical doses to increase the likelihood of tumor control for prostate cancer patients while reducing radiation exposure to the OAR.

Materials and methods: The study included 12 patients with prostate cancer of low, intermediate and high risk of progression according to NCCN. Planning for six patients was performed using the coplanar VMAT technique. For the second group, also of 6 patients, non-coplanar VMATs were used, where out of two full arches only one full arch (FULLARC 1), gantry 181°-179° CW, couch 0 was used.

Results: Implemented plans in the study method showed that the use of non-coplanar VMAT therapy fields can significantly reduce doses in OAR, in particular, the reduction in the average dose to the femoral heads was 46.6 %.

Conclusion: This study has demonstrated the potential for a non-standard approach to patient treatment with non-coplanar VMAT treatment planning.

Key words: *prostate cancer, radiation therapy, VMAT, non-coplanar fields, simultaneous integrated boost*

E-mail: sergeybuksha@yahoo.com