

© П.А. Лушникова^{1,2}, Ж.А. Старцева¹, А.А. Поляков^{1,2}, А.Е. Арышева²,
Е.С. Сухих^{1,3}, И.Б. Пыжова², В.В. Великая¹, О.В. Грибова¹

Анализ изменчивости покрытия мишени и соблюдения толерантных доз при использовании фиксированного дозиметрического плана внутрисполостной лучевой терапии рака шейки матки. Опыт онкологического центра города Томска

¹Научно-исследовательский институт онкологии — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», г. Томск, Российская Федерация

²Областное государственное автономное учреждение здравоохранения «Томский областной онкологический диспансер», г. Томск, Российская Федерация

³Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, Российская Федерация

© Polina A. Lushnikova^{1,2}, Zhanna A. Startseva¹, Alexey A. Polyakov^{1,2}, Anastasiia E. Arysheva²,
Evgeniia S. Sukhikh^{1,3}, Irina B. Pyzhova², Viktoria V. Velikaya¹, Olga V. Gribova¹

Analysis of Target Coverage Variability and Compliance with Tolerant Doses Using a Fixed Dosimetric Plan for Intracavitary Radiation Therapy for Cervical Cancer. Tomsk City Oncology Center Experience

¹Cancer Research Institute — a subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences (Tomsk NRMC), Tomsk, the Russian Federation

²State Regional Autonomous Budget Health Care Institution Tomsk Regional Oncology Center, Tomsk, the Russian Federation

³Federal State Autonomous Institution of Higher Education National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, the Russian Federation

Введение. При местнораспространенной стадии рака шейки матки применяется лучевая терапия. Лечение состоит из дистанционного курса химиолучевой терапии и последующего брахитерапевтического буста. Второй этап радиотерапии главным образом сказывается на результате локального контроля, поэтому важно соблюдать все требования данного лечения.

Цель. В некоторых онкологических центрах во время проведения этапа внутрисполостной брахитерапии используется первоначальный фиксированный план лечения, разработанный во время первой процедуры. Целью данной работы является анализ применимости дозиметрического плана первой фракции внутрисполостной брахитерапии для последующих фракций без перепланирования с учетом наиболее важных характеристик дозиметрического плана: охвата объема облучения (опухоли) предписанной дозой и соблюдения ограничений лучевых нагрузок на органы риска.

Материалы и методы. В исследование были включены 10 пациенток с диагнозом местнораспространенный рак шейки матки ПА–ПИС стадии, проанализированы 42 плана брахитерапии для каждой фракции облучения.

Результаты. У 9 из 10 пациенток применение дозиметрического плана лечения первой фракции для последующих фракций с учетом охвата объема облучения (опухоли) предписанной поглощенной дозой было допустимо. У одной пациентки наблюдалось «недооблучение» объема опухолевого процесса в связи с большим объемом пора-

Introduction. Radiation therapy is the treatment for locally advanced cervical cancer, typically involving a course of external beam chemoradiotherapy followed by a brachytherapy boost. The brachytherapy phase critically influences local control outcomes, making strict adherence to its technical requirements essential.

Aim. Clinical practice in some centers involves using a fixed brachytherapy plan, created during the first session, for the entire intracavitary treatment course. This study evaluates the clinical applicability of using a fixed brachytherapy treatment plan — developed during the first fraction — for subsequent fractions without replanning. The analysis focuses on two key dosimetric parameters: target volume coverage by the prescribed dose and adherence to organ-at-risk dose constraints.

Materials and Methods. We analyzed 42 brachytherapy fractions from 10 patients with locally advanced cervical cancer (stages IIB–IIIC).

Results. The first-fraction treatment plan proved applicable for subsequent fractions in 9 of 10 patients, maintaining adequate target coverage. One patient with extensive tumor infiltration of the uterine body required replanning due to target underdosage. The following dose constraint violations for organs at risk were observed: bladder dose exceeded limits in one

жения (опухолевая инфильтрация тела матки). Со стороны превышения толерантных уровней лучевых нагрузок для органов риска получены следующие результаты: превышение допустимой дозы на мочевой пузырь у одной пациентки на втором и на третьем сеансе облучения, что привело к перепланированию лечения; превышение нагрузки на сигмовидную кишку у четырех пациенток, что также потребовало корректировки дозиметрического плана. У половины больных наблюдались незначительные превышения допустимых лучевых нагрузок на петли кишечника во время проведения курса брахитерапии.

Выводы. Использование фиксированного плана лечения возможно, но только в случае небольшого объема облучения (не более 30 см³), при удаленном положении органов риска от источника облучения, удовлетворительном комплаенсе с пациенткой и уверенности в ее соблюдении рекомендаций врача по подготовке к сеансам лечения.

Ключевые слова: рак шейки матки; лучевая терапия; брахитерапия; мишень; органы риска; дозиметрическое планирование

Для цитирования: Лушникова П.А., Старцева Ж.А., Поляков А.А., Арышева А.Е., Сухих Е.С., Пыжова И.Б., Великая В.В., Грибова О.В. Анализ изменчивости покрытия мишени и соблюдения толерантных доз при использовании фиксированного дозиметрического плана внутрисполостной лучевой терапии рака шейки матки. Опыт онкологического центра города Томска. *Вопросы онкологии*. 2025; 71(5): 00-00.-DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-5-OF-2373

✉ Контакты: Лушникова Полина Александровна, Polina.lushnikova.90@mail.ru

Введение

Во всем мире рак шейки матки (РШМ) является четвертым по распространенности злокачественным новообразованием у женщин по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). В структуре онкологической заболеваемости в России в 2023 г. РШМ занимал шестое место по встречаемости среди женского населения [1].

Несмотря на современные возможности диагностики, в 70 % случаев женщины поступают в медицинские учреждения с уже местнораспространенной стадией заболевания [2]. В настоящее время стандартным методом лечения местнораспространенного РШМ является химиолучевая терапия, состоящая из двух обязательных этапов. На первом этапе проводится курс дистанционной лучевой терапии (ЛТ) на область малого таза (при необходимости верхнюю границу облучения поднимают до 1–3-го поясничного позвонка) на фоне радиомодификации препаратами платины (цисплатином или карбоплатином). Суммарная поглощенная доза от первого этапа должна составлять 45–46 Гр (с эскалацией поглощенной дозы до 55–57,5 Гр на пораженные лимфатические узлы). Дистанционная ЛТ проводится с использованием линейных ускорителей и применением конформных методик подведения поглощенных доз. Применение модулированной по интенсивности ЛТ (IMRT, VIMAT) является предпочтительным для сниже-

ния лучевой токсичности на здоровые органы и ткани [3, 4, 5].

Conclusion. Fixed-plan brachytherapy appears feasible for selected patients with small target volumes (<30–33 cm³), favorable distance between organs at risk and the radiation source, satisfactory patient compliance, and confidence in the patient's adherence to pretreatment preparation protocols.

Keywords: cervical cancer; radiation therapy; brachytherapy; target; organs at risk; dosimetric planning

For Citation: Polina A. Lushnikova, Zhanna A. Startseva, Alexey A. Polyakov, Anastasiia E. Arysheva, Irina B. Pyzhova, Evgeniia S. Sukhikh, Viktoria V. Velikaya, Olga V. Gribova. Analysis of target coverage variability and compliance with tolerant doses using a fixed dosimetric plan for intracavitary radiation therapy for cervical cancer. Tomsk City Oncology Center experience. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2025; 71(5): 00-00.-DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-5-OF-2373

ния лучевой токсичности на здоровые органы и ткани [3, 4, 5].

На втором этапе проводится курс внутрисполостной брахитерапии (БТ) на специальных брахитерапевтических аппаратах с использованием радиоактивных источников высокой мощности дозы (кобальта-60 или иридия-192) [3].

Брахитерапия используется для лечения РШМ уже более 100 лет и является неотъемлемым компонентом радикальной ЛТ для пациентов с местнораспространенным РШМ. Дозиметрическое планирование контактной ЛТ проводится исходя из технического оснащения клиники и может осуществляться по 2D- и 3D-изображениям. При планировании по 2D-изображениям расчет поглощенной дозы проводится в системе координат, связанной с источником облучения (в точке А, определяемой по Манчестерской системе). При использовании 3D-изображений дозиметрическое планирование осуществляется по данным компьютерной томографии (КТ) или магнитно-резонансной томографии (МРТ).

В 2016 г. были опубликованы результаты крупного международного многоцентрового исследования EMBRACE II, посвященного оценке эффективности и безопасности БТ с трехмерным визуальным контролем на основе изображений КТ или МРТ при местнораспространенном РШМ [2, 6, 7, 8]. Данная работа зародила новую парадигму в планировании БТ, направленную на подведение более высоких доз облу-

чения к объемам опухоли и более щадящее воздействие на окружающие здоровые ткани. Для достижения оптимального локального контроля над ростом опухоли и увеличения выживаемости суммарная доза, эквивалентная облучению в режиме классического фракционирования (EQD2), должна составлять не менее 85 Гр на область опухоли шейки матки, что согласуется с рекомендациями других клинических исследований [9, 10]. Однако авторы подчеркнули, что при планировании терапии у пациенток с прогнозируемой высокой продолжительностью жизни критически важно соблюдать толерантные уровни лучевых нагрузок для органов риска: мочевого пузыря — $D_{2cc} < 90$ изоГр; прямая кишка — $D_{2cc} < 75$ изоГр; сигмовидная кишка и кишечник — $D_{2cc} < 75$ изоГр [3, 6, 8, 10, 11].

В исследовании EMBRACE II был внедрен принцип динамического адаптивного планирования для каждого сеанса БТ, означающий, что перед процедурой необходимо выполнять повторную визуализацию и оптимизацию распределения поглощенной дозы с учетом изменений в анатомии пациента и положения аппликаторов, и, по крайней мере, первый сеанс должен быть создан по данным МРТ-топометрии. Адаптивное планирование на основе МРТ в настоящее время считается «золотым стандартом» БТ РШМ. При соблюдении указанных принципов возможно достижение хороших показателей локального контроля над ростом опухоли, безрецидивной и общей выживаемости у данной группы больных [6, 9].

Тем не менее, в реальной клинической практике врача-радиотерапевта, специализирующегося на БТ РШМ, могут возникнуть препятствия для проведения адаптивного лечения. В первую очередь, это дефицит времени специалиста и необходимость оптимизации рабочего графика, однако эти факторы не должны сказываться на качестве оказания медицинской помощи. В среднем, лечение одной пациентки с РШМ вместе с подготовкой, КТ-топометрией, оконтуриванием и дозиметрическим планированием занимает около 1,5–2 ч и требует строгой координации всех этапов, что сложно реализовать в условиях плотного потока пациентов. Кроме того, применение МРТ-топометрии на сегодняшний день доступно не во всех центрах страны и требует еще больших затрат рабочего времени. Ограниченная доступность КТ-томографа, обусловленная высокой загруженностью аппарата диагностическими исследованиями, может также приводить к задержкам в выполнении топометрических КТ. Острая нехватка медицинских физиков, участие которых критически важно для разработки дозиметрических

планов, их верификации и обеспечения гарантии качества ЛТ, может значительно ограничивать возможности и время подготовки сеансов БТ.

В связи с рядом организационных сложностей и, тем не менее, стремлением к поддержанию высокого качества оказания медицинской помощи больным, данное исследование посвящено оценке применимости дозиметрического плана первой фракции внутритростной БТ для последующих сеансов без перепланирования со стороны характеристик: охвата объема облучения (опухоли) предписанной поглощенной дозой и неперевышения лучевых нагрузок на органы риска согласно их толерантным уровням.

Материалы и методы

С января по апрель 2025 г. были отобраны 10 пациенток с местнораспространенным РШМ (IIA–IIIC2-стадии заболевания), получивших на первом этапе лечения курс дистанционной химиолучевой терапии на линейных ускорителях электронов Elekta Synergy Platform S или Varian TrueBeam STx в условиях радиотерапевтического отделения. Суммарные поглощенные дозы на малый таз составили 46 Гр с одновременной эскалацией поглощенной дозы на пораженные ЛУ до 55,2 или 57,5 Гр в зависимости от уровня поражения.

На втором этапе проводился курс внутритростной БТ высокой мощности дозы на аппарате Multisource HDR (источник — $Co\ 60$) до EQD2 40 Гр.

При лечении использовались гинекологические трехканальные аппликаторы типа Манчестер. После установки гинекологического аппликатора проводился рентген-контроль положения эндостатов на рентгенодиагностической установке с С-образным штативом для топометрического позиционирования. После этого выполнялась КТ-топометрия на аппарате Toshiba Aquilion и далее проводилось оконтуривание объемов мишени и органов риска на станции Monaso, версия 5.10. У каждой пациентки были выделены следующие объемы облучения: объем высокого риска поражения (CTV HR), органы риска — мочевого пузыря (*bladder*), прямая кишка (*rectum*), сигмовидная кишка (*sigmoid*), кишечник (*sigmoid*). План каждого сеанса лечения был разработан на основе КТ-изображений на станции планирования SagiPlan.

Были использованы два режима облучения: четыре фракции по 7 Гр (EQD2-39,67 Гр, альфа/бета 10 Гр) и пять фракций по 6 Гр (EQD2-40 Гр, альфа/бета 10 Гр). Количество планов для сравнения — 42.

Таблица 1. Дозиметрические показатели планов внутриволостной брахитерапии у исследуемой группы пациентов

№	Параметры	1 сеанс (референс)	2 сеанс	3 сеанс	4 сеанс	5 сеанс	Среднее значение	Стандартное отклонение
№ 1 7 Гр 4 фракции	Объем CTV см³	33,79	36,39	34,77	34,50		34,86	1,10
	D90 % от предписанной дозы	99,30	83,90	99,20	95,30		94,43	7,26
	D98 % от предписанной дозы	74,00	65,50	82,40	79,40		75,33	7,42
	Прямая кишка (D2cc) Гр	1,32	1,33	1,20	1,16		1,25	0,09
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	3,56	3,34	3,12	3,27		3,32	0,18
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	4,11	2,52	2,97	3,02		3,16	0,68
	Кишечник (D2cc) Гр	1,03	1,09	1,06	1,42		1,15	0,18
№ 2 7 Гр 4 фракции	Объем CTV см³	31,40	28,31	28,54	29,68		29,48	1,41
	D90 % от предписанной дозы	100,60	109,3	111,4	118		109,83	7,18
	D98 % от предписанной дозы	78,40	91,7	90,8	100,2		90,28	8,98
	Прямая кишка (D2cc) Гр	1,32	1,12	1,52	1,67		1,41	0,24
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	3,02	3,12	4,01	3,05		3,30	0,48
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	3,57	2,8	2,98	2,64		3,00	0,41
	Кишечник (D2cc) Гр	2,17	1,64	1,63	1,56		1,75	0,28
№ 3 6 Гр 5 фракций	Объем CTV см³	49,26	43,99	44,20	40,99	39,61	43,61	3,72
	D90 % от предписанной дозы	90,20	108,10	96,50	92,20	107,20	98,84	8,36
	D98 % от предписанной дозы	65,40	82,20	76,50	71,50	88,00	76,72	8,84
	Прямая кишка / Rectum (D2cc) Гр/Gy	2,90	2,19	2,08	1,57	2,05	2,16	0,48
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	3,19	7,13 (N < 5,3)	5,30 (N < 5,3)	4,16	1,95	4,35	1,99
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	3,65	4,39 (N < 4,1)	3,22	2,74	3,22	3,44	0,62
	Кишечник (D2cc) Гр	4,55	6,00	4,89	4,96	5,73	5,23	0,61
№ 4 7 Гр 4 фракции	Объем CTV см³	21,69	21,79	23,30	20,50		21,82	1,15
	D90 % от предписанной дозы	97,20	83,30	104,30	121,60		101,60	15,93
	D98 % от предписанной дозы	79,50	65,50	85,40	98,50		82,23	13,69
	Прямая кишка (D2cc) Гр	1,30	2,38	1,38	1,58		1,66	0,49
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	2,30	3,12	2,08	2,59		2,52	0,45
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	4,03	2,56	3,22	2,07		2,97	0,85
	Кишечник (D2cc) Гр	1,99	1,47	2,32	2,31		2,02	0,40
№ 5 7 Гр 4 фракции	Объем CTV см³	21,03	22,70	23,06	22,75		22,39	0,92
	D90 % от предписанной дозы	98,60	100,70	110,00	102,70		103,00	4,96
	D98 % от предписанной дозы	82,80	81,20	85,20	84,80		83,50	1,86
	Прямая кишка (D2cc) Гр	1,19	0,83	1,66	1,10		1,20	0,35
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	1,47	1,62	1,82	1,57		1,62	0,15
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	5,03 (N < 4,7)	3,71	3,08	4,60		4,11	0,88
	Кишечник (D2cc) Гр	5,39	4,71	4,17	4,91		4,80	0,51

№	Параметры	1 сеанс (референс)	2 сеанс	3 сеанс	4 сеанс	5 сеанс	Среднее значение	Стандартное отклонение
№ 6 7 Гр 4 фракции	Объем CTV см³	19,31	19,46	20,10	19,93		19,70	0,38
	D90 % от предписанной дозы	104,10	101,50	99,80	106,60		103,00	2,98
	D98 % от предписанной дозы	86,50	84,20	81,20	87,70		84,90	2,86
	Прямая кишка (D2cc) Гр	2,03	2,14	2,30	2,07		2,14	0,12
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	2,10	1,80	2,25	2,33		2,12	0,23
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	3,57	3,47	3,57	3,41		3,51	0,08
№ 7 7 Гр 4 фракции	Кишечник (D2cc) Гр	4,90	5,17	5,65	4,80		5,13	0,38
	Объем CTV см³	81,55	75,32	68,20	65,82		72,72	7,14
	D90 % от предписанной дозы	72,90	85,30	88,30	85,20		82,93	6,84
	D98 % от предписанной дозы	52,80	70,20	72,30	65,00		65,08	8,74
	Прямая кишка	2,84	1,97	2,33	3,32		2,62	0,59
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	4,34	6,32	5,20	4,75		5,15	0,85
№ 8 7 Гр 4 фракции	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	4,23	4,11	3,99	3,81		4,04	0,18
	Кишечник (D2cc) Гр	2,47	3,69	4,01	3,99		3,54	0,73
	Объем CTV см³	30,03	30,31	28,84	28,66		29,46	0,83
	D90 % от предписанной дозы	90,30	101,50	98,10	95,80		96,43	4,71
	D98 % от предписанной дозы	75,40	83,00	75,60	81,20		78,80	3,88
	Прямая кишка (D2cc) Гр	2,64	1,18	2,46	2,06		2,09	0,65
№ 9 6 Гр 5 фракций	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	1,24	1,33	0,92	1,62		1,28	0,29
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	4,11	3,93	2,94	3,49		3,62	0,52
	Кишечник (D2cc) Гр	5,00	5,09	5,06	4,50		4,91	0,28
	Объем CTV см³	50,09	41,75	42,05	41,53	49,70	45,02	4,45
	D90 % от предписанной дозы	90,01	93,70	94,20	97,30	90,10	93,00	3,15
	D98 % от предписанной дозы	75,80	76,90	77,10	74,10	75,80	75,94	1,19
№ 10 7 Гр 4 фракции	Прямая кишка (D2cc) Гр	1,82	1,56	1,54	1,94	1,93	1,76	0,20
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	3,55	3,82	2,31	2,42	1,86	2,79	0,85
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	3,66	2,64	4,14 (N < 4,1)	3,62	4,28 (N < 4,1)	3,67	0,64
	Кишечник (D2cc) Гр	2,77	2,33	2,42	2,31	1,65	2,30	0,41
	Объем CTV см³	32,27	32,09	29,33	30,53		31,06	1,39
	D90 % от предписанной дозы	91,00	91,20	96,60	98,50		94,33	3,80
№ 10 7 Гр 4 фракции	D98 % от предписанной дозы	73,50	67,20	70,60	78,00		72,33	4,58
	Прямая кишка (D2cc) Гр	1,96	1,81	1,66	1,28		1,68	0,29
	Мочевой пузырь (D2cc) Гр	1,79	2,18	1,86	2,12		1,99	0,19
	Сигмовидная кишка (D2cc) Гр	4,11	4,43	3,89	4,86 (N < 4,1)		4,32	0,42
	Кишечник (D2cc) Гр	5,64	4,89	6,12	5,23		5,47	0,53

Table 1. Dosimetric parameters of intracavitary brachytherapy plans in the study group of patients

Patient	Parameter	Fx1 (reference)	Fx2	Fx3	Fx4	Fx5	Mean	SD
#1 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	33.79	36.39	34.77	34.50		34.86	1.10
	D90 (% prescribed)	99.30	83.90	99.20	95.30		94.43	7.26
	D98 (% prescribed)	74.00	65.50	82.40	79.40		75.33	7.42
	Rectum D2cc (Gy)	1.32	1.33	1.20	1.16		1.25	0.09
	Bladder D2cc (Gy)	3.56	3.34	3.12	3.27		3.32	0.18
	Sigmoid D2cc (Gy)	4.11	2.52	2.97	3.02		3.16	0.68
	Bowel D2cc (Gy)	1.03	1.09	1.06	1.42		1.15	0.18
#2 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	31.40	28.31	28.54	29.68		29.48	1.41
	D90 (% prescribed)	100.60	109.3	111.4	118		109.83	7.18
	D98 (% prescribed)	78.40	91.7	90.8	100.2		90.28	8.98
	Rectum D2cc (Gy)	1.32	1.12	1.52	1.67		1.41	0.24
	Bladder D2cc (Gy)	3.02	3.12	4.01	3.05		3.30	0.48
	Sigmoid D2cc (Gy)	3.57	2.8	2.98	2.64		3.00	0.41
	Bowel D2cc (Gy)	2.17	1.64	1.63	1.56		1.75	0.28
#3 6 Gy × 5	Volume CTV cm ³	49.26	43.99	44.20	40.99	39.61	43.61	3.72
	D90 (% prescribed)	90.20	108.10	96.50	92.20	107.20	98.84	8.36
	D98 (% prescribed)	65.40	82.20	76.50	71.50	88.00	76.72	8.84
	Rectum D2cc (Gy)	2.90	2.19	2.08	1.57	2.05	2.16	0.48
	Bladder D2cc (Gy)	3.19	7.13*	5.30*	4.16	1.95	4.35	1.99
	Sigmoid D2cc (Gy)	3.65	4.39*	3.22	2.74	3.22	3.44	0.62
	Bowel D2cc (Gy)	4.55	6.00	4.89	4.96	5.73	5.23	0.61
#4 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	21.69	21.79	23.30	20.50		21.82	1.15
	D90 (% prescribed)	97.20	83.30	104.30	121.60		101.60	15.93
	D98 (% prescribed)	79.50	65.50	85.40	98.50		82.23	13.69
	Rectum D2cc (Gy)	1.30	2.38	1.38	1.58		1.66	0.49
	Bladder D2cc (Gy)	2.30	3.12	2.08	2.59		2.52	0.45
	Sigmoid D2cc (Gy)	4.03	2.56	3.22	2.07		2.97	0.85
	Bowel D2cc (Gy)	1.99	1.47	2.32	2.31		2.02	0.40
#5 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	21.03	22.70	23.06	22.75		22.39	0.92
	D90 (% prescribed)	98.60	100.70	110.00	102.70		103.00	4.96
	D98 (% prescribed)	82.80	81.20	85.20	84.80		83.50	1.86
	Rectum D2cc (Gy)	1.19	0.83	1.66	1.10		1.20	0.35
	Bladder D2cc (Gy)	1.47	1.62	1.82	1.57		1.62	0.15
	Sigmoid D2cc (Gy)	5.03*	3.71	3.08	4.60		4.11	0.88
	Bowel D2cc (Gy)	5.39	4.71	4.17	4.91		4.80	0.51

Patient	Parameter	Fx1 (reference)	Fx2	Fx3	Fx4	Fx5	Mean	SD
#6 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	19.31	19.46	20.10	19.93		19.70	0.38
	D90 (% prescribed)	104.10	101.50	99.80	106.60		103.00	2.98
	D98 (% prescribed)	86.50	84.20	81.20	87.70		84.90	2.86
	Rectum D2cc (Gy)	2.03	2.14	2.30	2.07		2.14	0.12
	Bladder D2cc (Gy)	2.10	1.80	2.25	2.33		2.12	0.23
	Sigmoid D2cc (Gy)	3.57	3.47	3.57	3.41		3.51	0.08
	Bowel D2cc (Gy)	4.90	5.17	5.65	4.80		5.13	0.38
#7 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	81.55	75.32	68.20	65.82		72.72	7.14
	D90 (% prescribed)	72.90	85.30	88.30	85.20		82.93	6.84
	D98 (% prescribed)	52.80	70.20	72.30	65.00		65.08	8.74
	Rectum D2cc (Gy)	2.84	1.97	2.33	3.32		2.62	0.59
	Bladder D2cc (Gy)	4.34	6.32	5.20	4.75		5.15	0.85
	Sigmoid D2cc (Gy)	4.23	4.11	3.99	3.81		4.04	0.18
	Bowel D2cc (Gy)	2.47	3.69	4.01	3.99		3.54	0.73
#8 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	30.03	30.31	28.84	28.66		29.46	0.83
	D90 (% prescribed)	90.30	101.50	98.10	95.80		96.43	4.71
	D98 (% prescribed)	75.40	83.00	75.60	81.20		78.80	3.88
	Rectum D2cc (Gy)	2.64	1.18	2.46	2.06		2.09	0.65
	Bladder D2cc (Gy)	1.24	1.33	0.92	1.62		1.28	0.29
	Sigmoid D2cc (Gy)	4.11	3.93	2.94	3.49		3.62	0.52
	Bowel D2cc (Gy)	5.00	5.09	5.06	4.50		4.91	0.28
#9 6 Gy × 5	Volume CTV cm ³	50.09	41.75	42.05	41.53	49.70	45.02	4.45
	D90 (% prescribed)	90.01	93.70	94.20	97.30	90.10	93.00	3.15
	D98 (% prescribed)	75.80	76.90	77.10	74.10	75.80	75.94	1.19
	Rectum D2cc (Gy)	1.82	1.56	1.54	1.94	1.93	1.76	0.20
	Bladder D2cc (Gy)	3.55	3.82	2.31	2.42	1.86	2.79	0.85
	Sigmoid D2cc (Gy)	3.66	2.64	4.14*	3.62	4.28*	3.67	0.64
	Bowel D2cc (Gy)	2.77	2.33	2.42	2.31	1.65	2.30	0.41
#10 7 Gy × 4	Volume CTV cm ³	32.27	32.09	29.33	30.53		31.06	1.39
	D90 (% prescribed)	91.00	91.20	96.60	98.50		94.33	3.80
	D98 (% prescribed)	73.50	67.20	70.60	78.00		72.33	4.58
	Rectum D2cc (Gy)	1.96	1.81	1.66	1.28		1.68	0.29
	Bladder D2cc (Gy)	1.79	2.18	1.86	2.12		1.99	0.19
	Sigmoid D2cc (Gy)	4.11	4.43	3.89	4.86*		4.32	0.42
	Bowel D2cc (Gy)	5.64	4.89	6.12	5.23		5.47	0.53

*Dose exceeds institutional constraint (Bladder: <5.3 Gy; Sigmoid: <4.1 Gy)
Abbreviations: Fx, fraction; CTV, clinical target volume; D90/D98, minimum dose to 90%/98% of volume; D2cc, minimum dose to the most irradiated 2 cm³; SD, standard deviation.

Таблица 2. Анализ планов брахитерапии

№ пациента	Показатель	Референсное значение (1 фракция)	2 сеанс	3 сеанс	4 сеанс	5 сеанс	Отклонение > 10 %
1	Объем CTV (см³)	33,79	+7,7 %	+2,9 %	+2,1 %	-	Нет
	D90 % от дозы	99,30	-15,5 %	-0,1 %	-4,0 %	-	Да (сеанс 2)
2	Объем CTV (см³)	31,40	-9,8 %	-9,1 %	-5,5 %	-	Нет
	D90 % от дозы	100,60	+8,6 %	+10,7 %	+17,3 %	-	Да (сеансы 3, 4)
3	Объем CTV (см³)	49,26	-10,7 %	-10,3 %	-16,8 %	-19,6 %	Да (все сеансы)
	D90 % от дозы	90,20	+19,8 %	+7,0 %	+2,2 %	+18,8 %	Да (сеансы 2, 5)
4	Объем CTV (см³)	21,69	+0,5 %	+7,4 %	-5,5 %	-	Нет
	D90 % от дозы	97,20	-14,3 %	+7,3 %	+25,1 %	-	Да (сеансы 2, 4)
5	Объем CTV (см³)	21,03	+7,9 %	+9,7 %	+8,2 %	-	Нет
	D90 % от дозы	98,60	+2,1 %	+11,6 %	+4,2 %		Да (сеанс 3)
6	Объем CTV (см³)	19,31	+0,8 %	+4,1 %	+3,2 %	-	Нет
	D90 % от дозы	104,10	-2,5 %	-4,1 %	+2,4 %	-	Нет
7	Объем CTV (см³)	81,55	-7,6 %	-16,4 %	-19,3 %	-	Да (сеансы 3, 4)
	D90 % от дозы	72,90	+17,0 %	+21,1 %	+16,9 %	-	Да (все сеансы)
8	Объем CTV (см³)	30,03	+0,92 %	-3,96 %	-4,57 %	-	Нет
	D90 % от дозы	90,30	+12,4 %	+8,6 %	+6,1 %	-	Да (сеанс 2)
9	Объем CTV (см³)	50,09	-16,7 %	-16,1 %	-17,1 %	-0,8 %	Да (сеансы 2, 3, 4)
	D90 % от дозы	89,70	+4,5 %	+5,0 %	+8,5 %	+0,4 %	Нет
10	Объем CTV (см³)	32,27	-0,6 %	-9,1 %	-5,4 %	-	Нет
	D90 % от дозы	91,00	+0,2 %	+6,2 %	+8,2 %	-	Нет

Table 2. Analysis of brachytherapy plans

Patient	Parameter	Reference (Fx1)	Fx2	Fx3	Fx4	Fx5	>10% Deviation
#1	CTV Volume (cm³)	33.79	+7.7 %	+2.9 %	+2.1 %	-	No
	D90 (% prescribed)	99.30	-15.5 %	-0.1 %	-4.0 %	-	Yes (Fx2)
#2	CTV Volume (cm³)	31.40	-9.8 %	-9.1 %	-5.5 %	-	No
	D90 (% prescribed)	100.60	+8.6 %	+10.7 %	+17.3 %	-	Yes (Fx3, Fx4)
#3	CTV Volume (cm³)	49.26	-10.7 %	-10.3 %	-16.8 %	-19.6 %	Yes (all fractions)
	D90 (% prescribed)	90.20	+19.8 %	+7.0 %	+2.2 %	+18.8 %	Yes (Fx2, Fx5)
#4	CTV Volume (cm³)	21.69	+0.5 %	+7.4 %	-5.5 %	-	No
	D90 (% prescribed)	97.20	-14.3 %	+7.3 %	+25.1 %	-	Yes (Fx2, Fx4)
#5	CTV Volume (cm³)	21.03	+7.9 %	+9.7 %	+8.2 %	-	No
	D90 (% prescribed)	98.60	+2.1 %	+11.6 %	+4.2 %		Yes (Fx3)
#6	CTV Volume (cm³)	19.31	+0.8 %	+4.1 %	+3.2 %	-	No
	D90 (% prescribed)	104.10	-2.5 %	-4.1 %	+2.4 %	-	No
#7	CTV Volume (cm³)	81.55	-7.6 %	-16.4 %	-19.3 %	-	Yes (Fx3, Fx4)
	D90 (% prescribed)	72.90	+17.0 %	+21.1 %	+16.9 %	-	Yes (all fractions)
#8	CTV Volume (cm³)	30.03	+0.92 %	-3.96 %	-4.57 %	-	No
	D90 (% prescribed)	90.30	+12.4 %	+8.6 %	+6.1 %	-	Yes (Fx2)
#9	CTV Volume (cm³)	50.09	-16.7 %	-16.1 %	-17.1 %	-0.8 %	Yes (Fx2, Fx3, Fx4)
	D90 (% prescribed)	89.70	+4.5 %	+5.0 %	+8.5 %	+0.4 %	No
#10	CTV Volume (cm³)	32.27	-0.6 %	-9.1 %	-5.4 %	-	No
	D90 (% prescribed)	91.00	+0.2 %	+6.2 %	+8.2 %	-	No

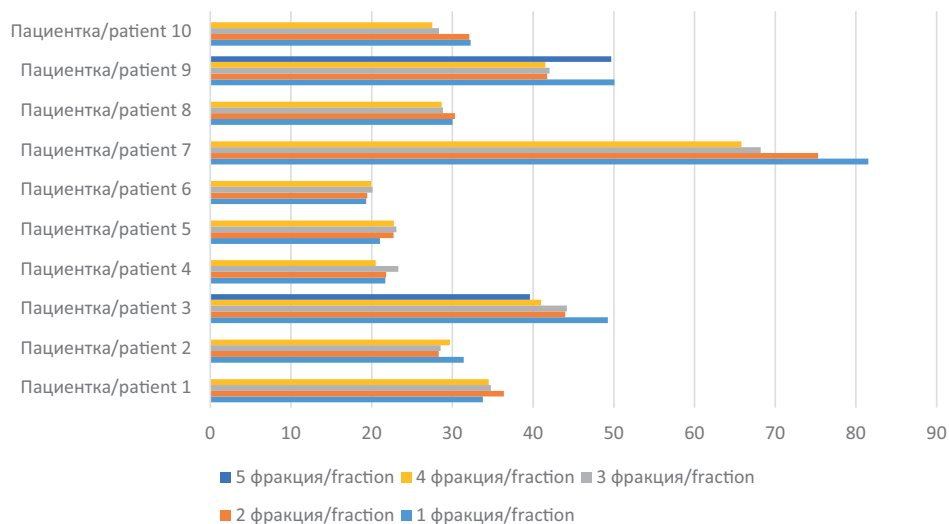


Диаграмма 1. Вариабельность объемов мишеней (CTV_HR), см³
Diagram 1. Variability of target volumes (CTV_HR), cm³

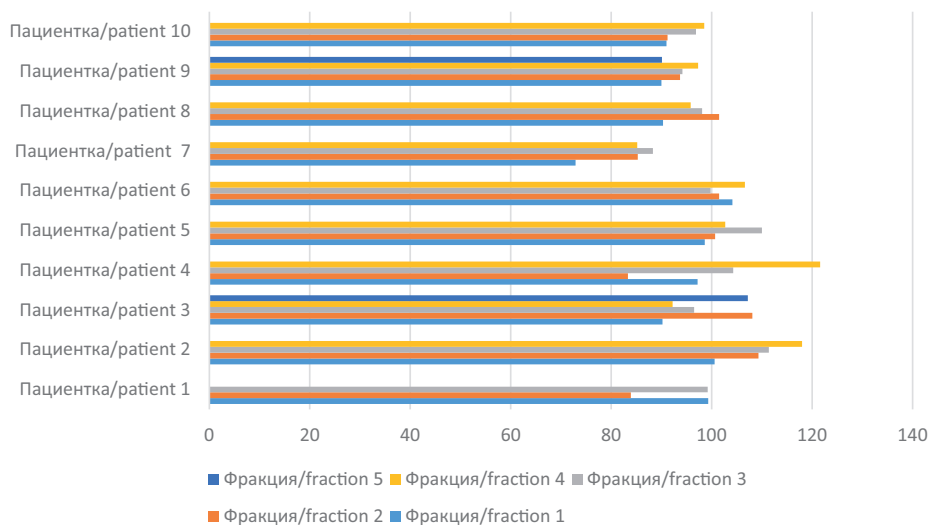


Диаграмма 2. Процент покрытия мишени D90
Diagram 2. D90 target coverage percentage

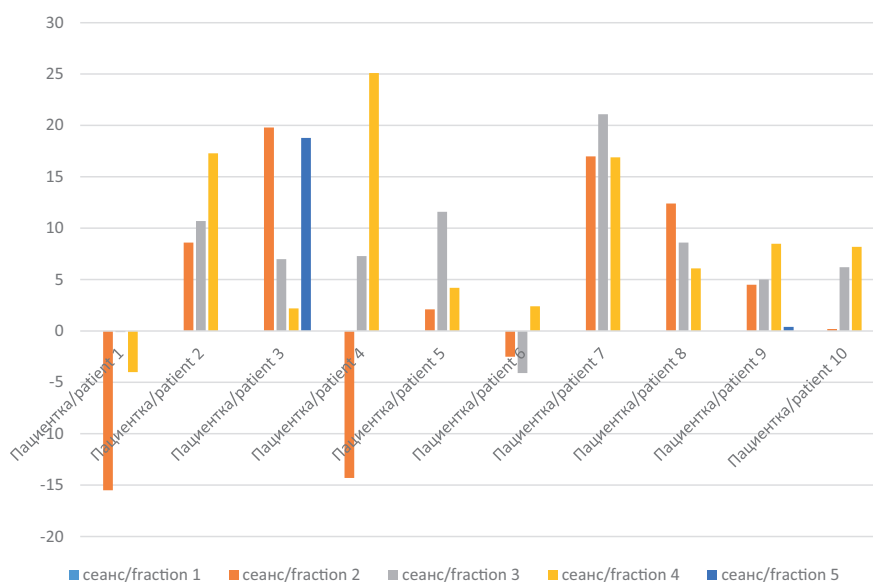


Диаграмма 3. Анализ планов брахитерапии, отклонение от референсного значения при покрытии мишени D90 дозой (%).
Одна фракция — 0 (референс)

Diagram 3. Deviation in target volume coverage (D90) across brachytherapy fractions relative to baseline (fraction 1 = 0%)

Для более точной воспроизводимости положения органов риска каждой пациентке назначалась диета с исключением продуктов, вызывающих газообразование. Вечером накануне процедуры выполнялась очистительная клизма, непосредственно перед введением гинекологических аппликаторов опорожнялся мочевой пузырь и устанавливался уретральный катетер.

Для ретроспективного анализа и сравнения характеристик дозиметрического плана ключевыми параметрами и критериями являлись:

- объем облучения (см³);
- лучевые нагрузки на органы риска (D2cc);
- распределение или охват поглощенной дозой объема облучения (D90, D98).

Исходный дозиметрический план считался приемлемым для последующих сеансов БТ, если охват объема облучения (CTV_{HR}) поглощенной дозой D90 не отличался от исходного значения на референсном плане более чем на 10 %, а лучевые нагрузки на органы риска не превышали приемлемых толерантных уровней:

- для режима 7 Гр четыре фракции: Rectum (D2cc) < 4,7 Гр; Bladder (D2cc) < 6,0 Гр; Sigmoid (D2cc) < 4,7 Гр; Bowell (D2cc) < 4,7 Гр.
- для режима 6 Гр пять фракций: Rectum (D2cc) < 4,1 Гр; Bladder (D2cc) < 5,3 Гр; Sigmoid (D2cc) < 4,1 Гр; Bowell (D2cc) < 4,1 Гр.

Результаты

Вариабельность объемов CTV_{HR} и D90. Несмотря на то, что контуринг выполнял один и тот же врач, объем CTV_{HR} отличался с каждым сеансом лечения (диаграмма 1). Чем меньше был объем CTV_{HR} у пациентки, тем меньше были различия (табл. 1, 2).

Наибольшие отклонения по объему CTV_{HR} наблюдаются у пациенток 3, 7, 9. У всех этих больных объем CTV превышал 50 см³ (диаграмма 1).

Минимальное отклонение в объемах опухоли зафиксировано у пациенток с объемом до 33 см³ (пациентки 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10). Практически отсутствовала вариабельность объема CTV_{HR} у пациентки 6 с первоначальным объемом мишени 19,31 см³ (диаграмма 1).

Наибольшие отклонения по D90 зафиксированы у пациенток 1, 2, 3, 4, 5, 7 и 8. В некоторых случаях они превышают 20 %, что указывает на значительные изменения в охвате объема опухоли (диаграммы 2, 3).

Пациентки 6 и 9 по охвату мишени D90 не имеют критических отклонений, что свидетельствует о стабильности их планов (табл. 1).

Параметр D90. Основным критерием по оценке охвата объема опухоли, предписанной поглощенной дозой, был D90 > = 90 %. Только

четыре плана из 42 не соответствовали главному критерию, что означало неприемлемость использования предыдущего плана облучения из-за «недооблучения» объема опухоли (табл. 1). Эти случаи возникали у пациенток с большим объемом CTV_{HR} (более 50 см³) и при затрудненности установки гинекологических аппликаторов вследствие анатомических особенностей (сглаженность влагалищных сводов, стеноз и деформация цервикального канала). В остальных случаях охват объема опухоли был не ниже значения установленного критерия.

Органы риска. У одной пациентки (3) при использовании фиксированного плана лечения БТ наблюдалось переоблучение мочевого пузыря во время второго и третьего сеансов БТ, что потребовало корректировки плана лечения (табл. 1). Для этой же больной на втором сеансе внутриматочной ЛТ наблюдалось превышение толерантного уровня лучевой нагрузки на сигмовидную кишку, как и у еще трех женщин (5, 9, 10) в четырех сеансах лечения, что потребовало корректировки плана БТ (табл. 1). Это, как правило, было связано с близким расположением объема облучения к органам риска. Данную особенность можно увидеть на первом сеансе терапии, поэтому врач может сразу отобрать пациенток, подлежащих перепланированию каждой фракции лечения. Переоблучения прямой кишки не наблюдалось ни у одной пациентки.

У половины больных наблюдались незначительные превышения лучевых нагрузок на петли кишечника, а в остальных случаях практически отсутствовали превышения толерантных уровней лучевых нагрузок на остальные органы риска.

Обсуждение

Персонализированные дозиметрические планы для каждого сеанса БТ являются «золотым стандартом», обеспечивающим точность подведения дозы и высокие показатели локального контроля [6].

В нашей статье продемонстрированы результаты использования первого дозиметрического плана БТ у пациенток с РШМ с различными объемами мишени. Представленные результаты показывают, как может изменяться покрытие мишени и облучение органов риска без перепланирования сеансов радиотерапии. Подобных исследований в медицинской базе данных PubMed нами не найдено.

В условиях ограниченных ресурсов строго контролируемое применение дозиметрического плана первой фракции внутриматочной БТ для проведения последующих сеансов БТ без перепланирования допустимо только при малом объеме опухоли (CTV_{HR} < 30 см³), анатомической

удаленности критических органов от аппликаторов, должной подготовке больных к процедуре облучения при условии стабильной фиксации аппликаторов в полости матки и боковых сводах, отсутствии технических сложностей при их установке.

Использование исходного дозиметрического плана не рекомендуется при объеме опухоли (CTV_{HR}) более 50 см³, особенно при наличии параметральной инвазии, при затрудненной установке аппликаторов, отсутствии уверенности врача в идентичном положении аппликатора в полости матки и боковых сводах влагалища, что может привести к изменениям в геометрии расположения источника по отношению к органам риска и области облучения.

Основными рисками при использовании исходного дозиметрического плана являются «недооблучение» объема опухоли и «переоблучение» органов риска, обусловленное анатомической вариабельностью положения и наполненности органов риска, а также смещением аппликаторов между сеансами.

Также следует отметить, что при сложных дозиметрических планах, когда возникает риск превышения толерантных уровней лучевых нагрузок на здоровые органы и ткани, следует перепланировать каждый сеанс брахитерапевтического лечения для снижения лучевой токсичности. В данном исследовании использовались гинекологические аппликаторы типа Манчестер, в случае применения других эндостатов (кольцевидного и т. д.) потребуется провести аналогичное исследование.

Заключение

Решение о возможности использования дозиметрического плана первой фракции внутриполостной брахитерапии для последующих сеансов облучения без перепланирования должно приниматься с учетом технических возможностей и мощности клиники, а также прогноза заболевания. Для больных с ожидаемой высокой продолжительностью жизни отступление от персонализированного подхода недопустимо, тогда как в паллиативных случаях возможна умеренная оптимизация ресурсов. Ключевой критерий — баланс между радикальностью и безопасностью, достижим только при мультидисциплинарном взаимодействии.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Финансирование

Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding

The study was performed without external funding.

Участие авторов

Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

Authors' contributions

All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

All authors have approved the final version of the article before publication, agreed to assume responsibility for all aspects of the work, implying proper review and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). М: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2024: 276.-ISBN: 978-5-85502-298-8.-URL: <http://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2024/08/zis-2023-elektronnaya-versiya.pdf>. [Kaprin A.D., Starinsky V.V., Shakhzadova A.O. Malignant neoplasms in Russia in 2023 (incidence and mortality). Moscow: P.A. Herzen Moscow State Medical Research Institute — branch of the Federal State Budgetary Institution 'NMRC of Radiology' of the Ministry of Health of Russia. 2024: 276.-ISBN: 978-5-85502-298-8.-URL: <http://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2024/08/zis-2023-elektronnaya-versiya.pdf> (in Rus)].
- Wang K., Wang J., Jiang P. High-dose-rate three-dimensional image-guided adaptive brachytherapy (3D IGABT) for locally advanced cervical cancer (LACC): A narrative review on imaging modality and clinical evidence. *Curr Oncol*. 2023; 31(1): 5065.-DOI: <https://doi.org/10.3390/curroncol31010004>.
- Пак шейки матки. Клинические рекомендации Министрства здравоохранения РФ. 2024.-URL: <https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/5543>. [Cervical cancer: Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2024.-URL: <https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/5543> (in Rus)].
- Cancer cervical cancer. National Comprehensive Cancer Network (NCCN). 2025.-URL: <https://www.nccn.org>.
- Lin Y., Chen K., Lu Z., et al. Intensity-modulated radiation therapy for definitive treatment of cervical cancer: a meta-analysis. *Radiat Oncol*. 2018; 13(1): 177.-DOI: <https://doi.org/10.1186/s13014-018-1126-7>.
- Potter R., Tanderup K., Kirisits C., et al. EMBRACE Collaborative Group. The EMBRACE II study: The outcome and prospect of two decades of evolution within the GEC-ESTRO GYN working group and the EMBRACE studies. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2018; 9: 48-60.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2018.01.001>.
- Sturdza A., Potter R., Fokdal L.U., et al. Image guided brachytherapy in locally advanced cervical cancer: Improved

- pelvic control and survival in RetroEMBRACE, a multicenter cohort study. *Radiother. Oncol.* 2016; 120: 428-433.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2016.03.011>.
8. Дубинина А.В., Козлов О.В., Черных М.В. Планирование брахитерапии местнораспространенного рака шейки матки по КТ-изображениям. *Онкогинекология*. 2021; 4 (40): 50-57.-DOI: https://doi.org/10.52313/22278710_2021_4_50. [Dubinina A.V., Kozlov O.V., Chernykh M.V. Planning Of brachytherapy for locally advanced cervical cancer based on ct scan images. *Gynecologic Oncology*. 2021; 4 (40): 50-57.-DOI: https://doi.org/10.52313/22278710_2021_4_50 (in Rus)].
 9. Tanderup K., Fokdal L.U., Sturdza A., et al. Effect of tumor dose, volume and overall treatment time on local control after radiochemotherapy including MRI guided brachytherapy of locally advanced cervical cancer. *Radiother Oncol.* 2016; 120(3): 441-446.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2016.05.014>.
 10. Кравец О., Романова Е., Козлов О., et al. Трехмерное планирование брахитерапии местнораспространенного рака шейки матки по КТ/МРТ изображениям. *Вопросы онкологии*. 2018; 64(5): 645-650.-DOI: <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2018-64-5-645-650>. [Kravets O., Romanova E., Kozlov O., et al three-dimensional planning of brachytherapy for locally advanced cervical cancer by CT/MRI images. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2018; 64(5): 645-650.-DOI: <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2018-64-5-645-650> (in Rus)].
 11. Uezono H., Tsujino K., Inoue Y., et al. CT-based image-guided brachytherapy in uterine cervical cancer: Effect of tumor dose and volume on local control. *Brachytherapy*. 2022; 21(6): 814-822.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brachy.2022.08.012>.
- Поступила в редакцию / Received / 12.05.2025
 Прошла рецензирование / Reviewed / 13.06.2025
 Принята к печати / Accepted for publication / 19.06.2025

Сведения об авторах / Author Information / ORCID

Полина Александровна Лушникова / Polina A. Lushnikova / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7465-3640>, SPIN: 3434-7656.

Жанна Александровна Старцева / Zhanna A. Startseva / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4345-7719>, SPIN: 8121-0310.

Алексей Александрович Поляков / Alexey A. Polyakov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3078-091X>, SPIN: 3954-5310.

Анастасия Евгеньевна Арышева / Anastasiia E. Arysheva / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8999-9896>.

Евгения Сергеевна Сухих / Evgeniia S. Sukhikh / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8251-2138>, SPIN: 3699-3110.

Виктория Валерьевна Великая / Viktoria V. Velikaya / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0798-2612>, SPIN: 6959-6382.

Ирина Борисовна Пыжова / Irina B. Pyzhova / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9845-1625>

Ольга Вячеславовна Грибова / Olga V. Gribova / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1696-427X>, SPIN: 1405-1669.

