

Опыт стереотаксической лучевой терапии и радиохирургического лечения метастатических опухолей позвонков

О. И. Кит, Д. Е. Закондырин[✉], Э. Е. Росторгуев, П. Г. Сакун, В. И. Вошедский, М. А. Командиров

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ russiandoctor@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Оценка эффективности экстракраниальной стереотаксической лучевой терапии в различных режимах фракционирования при лечении пациентов с метастатическим поражением позвонков.

Пациенты и методы. В исследование включено 12 больных с метастатическим поражением позвоночника, которым была проведена экстракраниальная стереотаксическая лучевая терапия (SBRT) на линейном ускорителе Novalis Tx, Varian, в режиме радиохирургии (SRS; за 1 фракцию) и режиме гипофракционирования (разовая очаговая доза (РОД) 5Гр, суммарная очаговая доза (СОД) 25Гр, 5 фракций) в период с 01.01.2020 по 31.03.2022 гг. Оценка локального контроля осуществлялась с использованием позитронно-эмиссионной томографии – компьютерной томографии (ПЭТ-КТ) с 18ФДГ. Интенсивность болевого синдрома до и после облучения оценивали по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ).

Результаты. У 12 пациентов проведено облучение 19 метастатических пораженных позвонков. Методика SBRT в режиме гипофракционирования была применена у 6 (50 %) больных, в режиме радиохирургии (SRS) использована у 4 (34 %) пациентов, у 2 (17 %) больных на различных пораженных сегментах позвоночного столба применялась комбинация методов облучения. Общий объем опухоли (GTV) в среднем составлял 30,56 ± 7,8 см³. При применении радиохирургического режима облучения РОД составляла от 16 до 18Гр. При применении методики гипофракционирования СОД составила 25 Гр, РОД – 5 Гр.

Заключение. Экстракраниальная стереотаксическая лучевая терапия метастатических опухолей позвонков без компрессии невралгических структур обеспечивает локальный контроль опухоли у 92 % больных в течение 6 месяцев и у 83 % пациентов в течение 1 года, регресс болевого синдрома после облучения – у 67 % больных.

Ключевые слова: стереотаксическая лучевая терапия, радиохирургия, метастазы в позвоночник

Для цитирования: Кит О. И., Закондырин Д. Е., Росторгуев Э. Е., Сакун П. Г., Вошедский В. И., Командиров М. А. Опыт стереотаксической лучевой терапии и радиохирургического лечения метастатических опухолей позвонков. Южно-Российский онкологический журнал. 2024; 5(2): 6-13. <https://doi.org/10.37748/2686-9039-2024-5-2-1>, <https://elibrary.ru/gjahux>

Для корреспонденции: Закондырин Дмитрий Евгеньевич – к.м.н., докторант отделения нейроонкологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
Адрес: 344037, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. 14-я линия, д. 63
E-mail: russiandoctor@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0925-415X>
SPIN: 7298-0181, AuthorID: 703429

Соблюдение этических стандартов: в работе соблюдались этические принципы, предъявляемые Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association Declaration of Helsinki, 1964, ред. 2013). Исследование одобрено Комитетом по биомедицинской этике при ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (выписка из протокола заседания № 118 от 02.06.2022 г.). Информированное согласие получено от всех участников исследования.

Финансирование: финансирование данной работы не проводилось

Конфликт интересов: Кит О. И. является членом редакционной коллегии журнала «Южно-Российский онкологический журнал» с 2019 г., но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли

Статья поступила в редакцию 03.10.2023; одобрена после рецензирования 09.04.2024; принята к публикации 09.05.2024

© Кит О. И., Закондырин Д. Е., Росторгуев Э. Е., Сакун П. Г., Вошедский В. И., Командиров М. А., 2024

Experience of stereotactic radiation therapy and radiosurgical treatment of metastatic vertebral tumors

O. I. Kit, D. E. Zakondyrin[✉], E. E. Rostorguev, P. G. Sakun, V. I. Voshedskii, M. A. Komandirov

National Medical Research Centre for Oncology, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ russiandocor@mail.ru

ABSTRACT

Purpose of the study. Evaluation of the effectiveness of extracranial stereotactic radiation therapy in various fractionation regimens in the treatment of patients with metastatic vertebral lesions.

Patients and methods. The study included 12 patients with metastatic spinal lesions who underwent extracranial stereotactic radiation therapy (SBRT) on a Novalis Tx linear accelerator, Varian, in radiosurgery mode (SRS; in 1 fraction) and hypofractionation mode (SFD 5Gy, TFD 25Gy, 5 fractions) in the period from 01/01/2020 to 03/31/2022. The assessment of local control was carried out using positron emission tomography – computed tomography (PET-CT) from 18FDG. The intensity of the pain syndrome before and after radiation was assessed using a visual analog pain scale (VAS).

Results. 19 vertebrae with metastatic lesions were irradiated in 12 patients. The SBRT technique in hypofractionation mode was used in 6 (50 %) patients, in radiosurgery (SRS) mode was used in 4 (34 %) patients, in 2 (17 %) patients a combination of irradiation techniques was used on various affected segments of the spinal column. The general tumor volume (GTV) averaged 30.56 = 7.8 km². When using the radiosurgical irradiation regimen, SFD ranged from 16 to 18 Gy. When using the hypofractionation technique, the total focal dose (TFD) was 25 Gy, a single focal dose (SFD) was 5 Gy.

Conclusion. Stereotactic radiation therapy and radiosurgery of metastatic vertebral tumors without compression of neural structures provides local tumor control in 92 % of patients within 6 months and in 83 % of patients within 1 year, regression of pain after irradiation – in 67 % of patients.

Keywords: stereotactic radiotherapy, radiosurgery, spinal metastases

For citation: Kit O. I., Zakondyrin D. E., Rostorguev E. E., Sakun P. G., Voshedskii V. I., Komandirov M. A. Experience of stereotactic radiation therapy and radiosurgical treatment of metastatic vertebral tumors. South Russian Journal of Cancer. 2024; 5(2): 6-13. <https://doi.org/10.37748/2686-9039-2024-5-2-1>, <https://elibrary.ru/gjahux>

For correspondence: Dmitry E. Zakondyrin – Cand. Sci. (Med.), PhD student of the Department of Neurological Oncology, National Medical Research Centre for Oncology, Rostov-on-Don, Russian Federation
Address: 63 14 line str., Rostov-on-Don 344037, Russian Federation
E-mail: russiandocor@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0925-415X>
SPIN: 7298-0181, AuthorID: 703429

Compliance with ethical standards: This research has been carried out in compliance with the ethical principles set forth by the World Medical Association Declaration of Helsinki, 1964, ed. 2013. The study was approved by the Committee on Biomedical Ethics at the National Medical Research Center of Oncology, the Russian Federation Ministry of Health (extract from the protocol of the meeting No. 118 dated 06/02/2022). Informed consent was received from all the participants of the study

Funding: this work was not funded.

Conflict of interest: Kit O. I. has been the member of the editorial board of the South Russian Journal of Cancer since 2019, however he has no relation to the decision made upon publishing this article. The article has passed the review procedure accepted in the journal. The authors did not declare any other conflicts of interest

The article was submitted 03.10.2023; approved after reviewing 09.04.2024; accepted for publication 09.05.2024

ВВЕДЕНИЕ

Анализ литературы показывает, что у 30–50 % онкологических больных отмечается метастатическое поражение позвоночного столба, в том числе у 70–80 % пациентов с раком молочной железы или раком простаты и у 40 % пациентов с распространенным раком легкого [1]. У одной трети пациентов поражение позвонков имеет симптомный характер. Клинические проявления наиболее часто представлены болевым синдромом, варьирующим по степени интенсивности. В течение длительного времени в лечении данной группы больных и при отсутствии показаний к оперативному лечению применялась конвенциональная лучевая терапия (КЛТ), обладающая удовлетворительным (до 80 % случаев) противоболевым эффектом, однако локальные рецидивы возникают у 60–80 % больных, а противоболевой эффект нередко развивается лишь через 2–3 недели после лечения, особенно при радиорезистентных опухолях [2]. В настоящее время конформные методы лучевой терапии в лечении метастазов в кости вытесняют конвенциональную лучевую терапию несмотря на их недостатки в виде необходимости более длительной подготовки больного, проведения дополнительных диагностических исследований и дороговизны [3]. Основным отличием конформной лучевой терапии от конвенциональной является создание поля облучения заданной формы с минимальным воздействием на окружающие ткани.

Возможность концентрации дозы облучения без ее увеличения при конформной лучевой терапии в области опухоли является, в том числе, и способом преодоления ее радиорезистентности. Среди конформных методов в лечении опухолей позвоночника стереотаксическая лучевая терапия (СЛТ) и радиохирургия (РХ) заняли ведущие позиции. При СЛТ деструкция опухоли происходит несколькими крупными фракциями (по 5–12 Гр), при РХ – подведением радикальной дозы (15–21 Гр) за один сеанс.

Цель исследования: оценка эффективности экстракраниальной СЛТ в различных режимах фракционирования при лечении пациентов с метастатическим поражением позвонков.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследование включено 12 больных с метастатическим поражением позвоночника, которым была проведена экстракраниальная СЛТ (SBRT) на линейном ускорителе Novalis Tx, Varian, в режиме РХ (SRS; за 1 фракцию) и режиме гиподифракционирования (разовая очаговая доза (РОД) 5Гр, суммарная очаговая доза (СОД) 25 Гр, 5 фракций) в период с 01.01.2020 по 31.03.2022 гг.

Средний возраст пациентов составил $55,47 \pm 2,89$ лет, соотношение мужчин и женщин 2:10. Эпидуральная компрессия 1b степени была выявлена только у 1 больного. Стабильность позвоночного столба по шкале SINS составила в среднем

Таблица 1. Характеристики метастатических опухолей позвонков у пациентов

Признак	Значение показателя (n = 19)
Расположение метастатической опухоли в позвоночнике по классификации Tomita	
1 тип	4 (21 %)
5 тип	1 (5 %)
7 тип	14 (74 %)
Локализация опухоли в позвонке	
тело	13 (68 %)
тело + ножка дуги	3 (16 %)
тотальное поражение	3 (16 %)
Степень распространения опухоли по классификации Weinstein-Boriani	
B + C	18 (95 %)
A + B + C	1 (5 %)
Уровень поражения	
Шейный	2 (10,5 %)
Грудной	7 (37 %)
Поясничной	8 (42 %)
Крестцовый	2 (10 %)

5,0 ± 0,59 балла. Все пациенты были неврологически интактны (тип E по Frankel) и функционально сохранны (70–80 баллов по Karnofsky). Болевой синдром до проведения курса облучения имел место у всех пациентов, средний балл по ВАШ составлял 5,4 ± 0,67. По гистологическому типу первич-

ной опухоли распределение было следующим: рак молочной железы – 10 (84 %) больных, меланома кожи – 1 (8 %) пациент, без установленного первичного очага – 1 (8 %) больной. Характеристики метастатических опухолей позвонков у пациентов по данным нейровизуализации представлены в табл. 1.

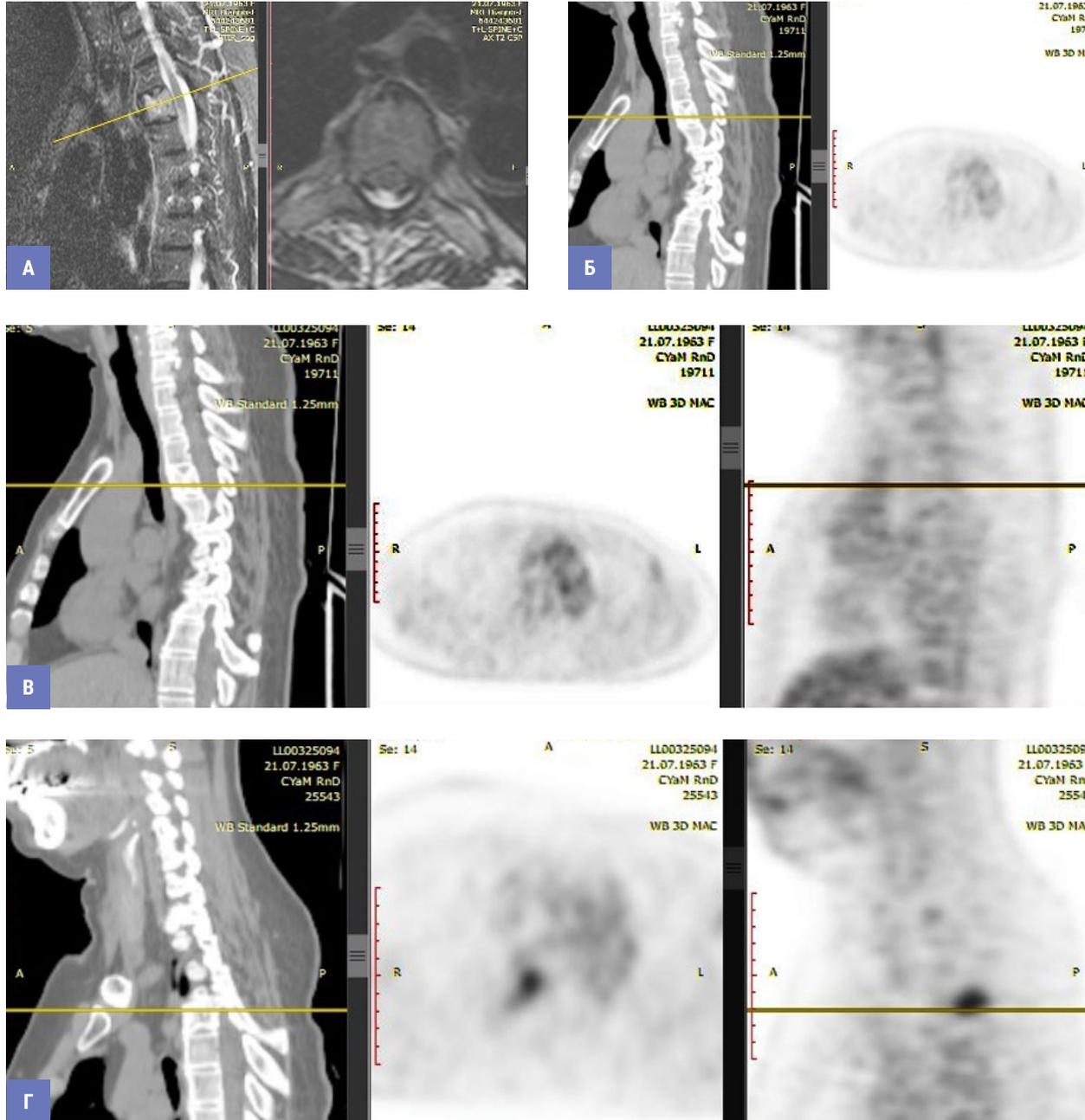


Рис. 1. Оценка локального контроля после проведенной лучевой терапии у пациентки Л-о. А, Б – данные МРТ и КТ грудного отдела позвоночника до начала лечения (признаки метастатического поражения Th3 позвонка); В – данные контрольного ПЭТ-КТ в период наблюдения через 3 мес. после облучения (признаков патологической активности в зоне облучения нет), Г – данные контрольного ПЭТ-КТ в период наблюдения через 12 мес. после облучения (признаки рецидива образования в области ножки дуги позвонка)

Общий объем опухоли (GTV) в среднем составлял $30,56 \pm 7,8 \text{ см}^2$. Средняя доза облучения при однофракционных курсах составила 26 [13; 16] Гр. При применении методики гипофракционирования средняя СОД составила 25 [25; 26] Гр, средняя РОД – 5 [5; 8] Гр.

Одиночный метастатический очаг в позвоночнике в начале лечения отмечался у 2 (17 %) больных, у остальных пациентов метастатическое поражение позвонков имело множественный характер. Помимо позвоночника у 6 (50 %) отмечалось метастазирование в другие плоские кости скелета, а у 4 (34 %) – висцеральные метастазы.

Для оценки неврологического статуса и состояния пациентов использовали шкалы Frankel и Karnofsky, интенсивность болевого синдрома оценивали по визуально аналоговой шкале боли (ВАШ), для оценки нестабильности в пораженном позвоночно-двигательном сегменте пользовались

шкалой SINS. Все пациенты обследовались в день поступления, при выписке и через каждые 3 месяца после завершения курса лучевой терапии. Всем пациентам до лечения выполнялась компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) позвоночного столба, послеоперационная оценка локального контроля осуществлялась с использованием позитронно-эмиссионной томографии – компьютерной томографии (ПЭТ-КТ) с 18F-фтордезоксиглюкозой (18-ФДГ) (рис. 1).

Облучение проводилось на линейном ускорителе Novalis Tx, Varian. Предварительно выполнялась топометрическая томография на компьютерном томографе Siemens Somatom, обработка предварительной топометрии на станции виртуальной симуляции Singo Via. Для иммобилизации и воспроизводимости укладки пациента использовался вакуумный матрас для всего тела с бордом ArmShuttle. С помощью программного обеспечения

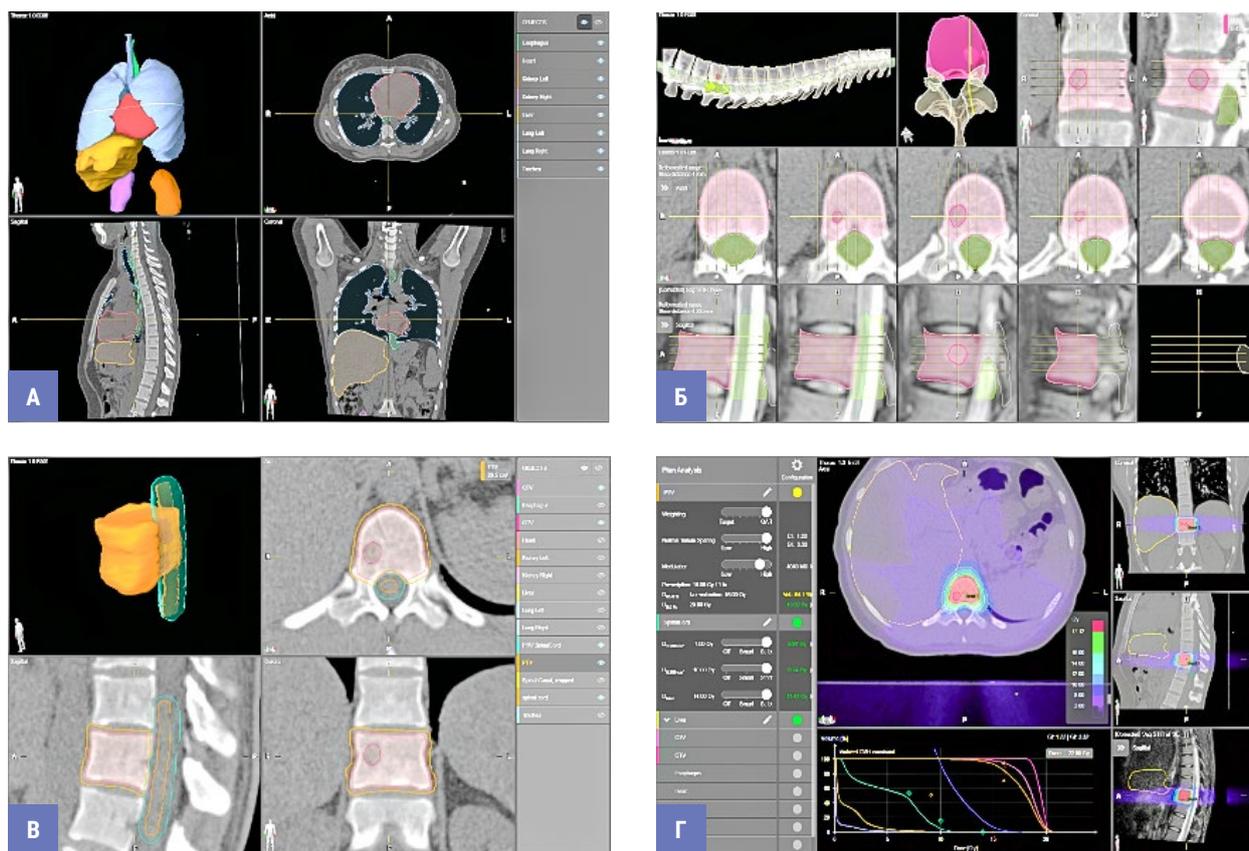


Рис. 2. Планирование облучения. А – анатомическая сегментация и оконтуривание критических органов и структур; Б – оконтуривание объема GTV по изображениям различных модальностей и формирование объема CTV; В – оконтуривание спинного мозга и формирование объема PTV; Г – дозиметрическое планирование с контролем покрытия мишени и нагрузки на критические органы и структуры с последующим анализом рассчитанного плана облучения

Elements Brainlab производилось сегментирование, оконтуривание и формирование 3D-плана лечения для линейного ускорителя. Укладка и контроль положения пациента выполнялись по ортогональным рентгеновским снимкам с помощью системы позиционирования ExacTrac X-Ray Monitoring BrainLab. Верификация рассчитанного плана стереотаксического радиотерапевтического лечения проводилась на фантоме StereoPHAN с матрицей детекторов SRS Marcheck. Перед сеансом радиохирургического лечения выполнялась проверка калибровки ускорителя по абсолютной дозе и проверка калибровки системы позиционирования. Доставка дозы осуществлялась с использованием динамической объемно-модулированной методики (VMAT).

Клинический объем опухоли (CTV) определялся в соответствии с International Spine Radiosurgery Consortium Consensus Guidelines [4]. Планируемый объем опухоли (PTV) вычислялся путем добавления 2-миллиметрового края к границам CTV с вычетом объема PRV (planning risk volume) для спинного мозга (+ 3 мм к краю спинного мозга во всех направлениях) и учетом расположения органов риска (ротоглотки, пищевода и т. д.) (рис. 2).

Для каждой группы показателей определяли тип распределения данных (построение гистограмм по критерию согласия Колмогорова – Смирнова). Если применение критерия показывало нормальное распределение данных для описания использовали среднее, ошибку среднего ($M \pm m$). При отличии распределения от нормального закона для описания использовали значения медианы, 1-го и 3-го квартилей ($Me [Q1; Q3]$). Пороговый уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

У 12 пациентов проведено облучение 19 метастатических опухолей позвонков.

Большинство пациентов (80 %, $n = 10$) прошли 1 курс лучевой терапии, 20 % больных получили 2 курса облучения. При этом облучение одного позвонка выполнено 8 (67 %) больным, 4 (33 %) получили облучение двух и более сегментов позвоночного столба. Методика SBRT была применена у 6 (50 %) больных, РХ (SRS) использована у 4 (34 %) пациентов. У 2 (17 %) больных на различных пораженных сегментах позвоночного столба применялась и SBRT, и SRS методики облучения.

Проводимая лучевая терапия была частью комплексного лечения у 10 (83 %) больных, комбинированного – у 2 (17 %).

Средняя продолжительность наблюдения составила $12,18 \pm 2,23$ мес. Радиологический локальный контроль (полный, частичный ответ и стабилизация заболевания по критериям RECIST) был достигнут у 11 (92 %) больных в течение 6 мес., у 10 (83 %) – в течение 1 года. Прогрессирование основного заболевания за период наблюдения отмечено у 6 (50 %) больных. Средняя выживаемость до прогрессирования составила $9,11 \pm 2,69$ мес. Уменьшение болей в спине после облучения отметили 8 (67 %) больных, случаев нарастания болевого синдрома отмечено не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Стереотаксическая лучевая терапия и радиохирurgia показывают высокую эффективность в лечении метастатических опухолей позвонков. Одной из первоочередных целей облучения опухолей, не сдавливающих спинной мозг, является лечение болевого синдрома. Vargo J. A. и соавт. [5] предлагают применять те или иные режимы облучения в зависимости от цели проводимого лечения. Если основной задачей является облегчение болевого синдрома, то предпочтение отдается облучению за 1 фракцию (16–18 Гр). Для достижения долгосрочного локального контроля предпочтение отдается фракционированным режимам СЛТ (8–9 Гр × 3 фр., или 6–7 Гр × 5 фр.).

Рандомизированные исследования противоболевого эффекта лучевой терапии, проведенной пациентам по методикам однофракционной СЛТ (16–18 или 24 Гр) и моно- многофракционной КЛТ (8 Гр за 1 фракцию или 30 Гр за 10 фракций) показали отсутствие достоверной разницы между группами больных через 3 мес. после лечения, и достоверно лучший эффект СЛТ через 6 мес. [6, 7]. Ограничением данных исследований стало поражение не более чем 2 смежных позвонков и наличие расстояния не менее 3 мм между краем опухоли и спинным мозгом (не более 1b степени ESCC), в противном случае группы не поддавались рандомизации. Sahgal A. и соавт. [8] в ходе рандомизированного многоцентрового исследования также отметили преимущества СЛТ (двухфракционная по 24 Гр) над КЛТ (20 Гр в 5 фракциях) в эффективности против болевого синдрома при метастатическом поражении позво-

ночника даже в течении первых 3 месяцев после лечения. Результаты рандомизированных исследований по сравнению эффективности КЛТ и СЛТ методик в отношении локального контроля опухоли на сегодняшний день в литературе отсутствуют. Мета-анализ, проведенный Singh R. и соавт. [9], включающий 3237 больных, показал наличие локального контроля опухоли у 92,9 % пациентов после однофракционной СЛТ (РХ) против 81 % после КЛТ или 82,1 % после многофракционной КЛТ.

Локальное облучение не предотвращает прогрессирование основного заболевания, поэтому оно должно применяться в комбинации с химиотерапевтическим лечением. В период наблюдения прогрес-

сирование отмечено у 50 % пациентов, в то время как локальный контроль достигнут к концу первого года после завершения курса облучения у 83 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стереотаксическая лучевая терапия и радиохирurgia метастатических опухолей позвонков без компрессии невральных структур обеспечивает локальный контроль опухоли у 92 % больных в течение 6 мес. и у 83 % пациентов в течение 1 года, регресс болевого синдрома после облучения – у 67 % больных.

Список источников

1. Заборовский Н. С., Пташников Д. А., Топузов Э. Э., Левченко Е. В., Михайлов Д. А., Наталенко К. Е. Эпидемиология опухолей позвоночника у пациентов, получивших специализированную ортопедическую помощь. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(1):104–112. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-1-104-112>, EDN: ZELXRB
2. Арсеньев А. И., Канаев С. В., Новиков С. Н., Барчук А. А., Пономарева О. И., Антипов Ф. Е. и др. Стереотаксическая лучевая терапия в лечении первичных и метастатических опухолевых поражений позвоночника. *Вопросы онкологии*. 2022;68(4):413–426. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2022-68-4-413-426>, EDN: EYPWKT
3. Голанов А. В., Горлачев Г. Е., Антипина Н. А., Коновалов Н. А., Шевелев И. Н., Ветлова Е. Р. и др. Стереотаксическое облучение объемных образований спинного мозга и позвоночника с использованием системы КиберНож. *Вопросы нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко*. 2012;76(1):54-63. EDN: PDXHUL
4. Cox BW, Spratt DE, Lovelock M, Bilsky MH, Lis E, Ryu S, et al. International Spine Radiosurgery Consortium consensus guidelines for target volume definition in spinal stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012 Aug 1;83(5):e597-605. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2012.03.009>
5. Heron DE, Saiful Huq M, Herman JM. Stereotactic radiosurgery and stereotactic body radiation therapy (SBRT). Vargo JA, Mihai A, Engh JA et al. *Spine SBRT*. New York: Demos, 2018:279–292.
6. Sprave T, Verma V, Förster R, Schlamp I, Bruckner T, Bostel T, et al. Randomized phase II trial evaluating pain response in patients with spinal metastases following stereotactic body radiotherapy versus three-dimensional conformal radiotherapy. *Radiother Oncol*. 2018 Aug;128(2):274–282. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2018.04.030>
7. Ryu S, Deshmukh S, Timmerman R, Movsas B, Gerszten P, Yin F, et al. Radiosurgery Compared To External Beam Radiotherapy for Localized Spine Metastasis: Phase III Results of NRG Oncology/RTOG 0631. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2019 Aug 1;105(1):S2–3.
8. A, Myrehaug SD, Siva S, Masucci GL, Maralani PJ, Brundage M, et al. Stereotactic body radiotherapy versus conventional external beam radiotherapy in patients with painful spinal metastases: an open-label, multicentre, randomised, controlled, phase 2/3 trial. *Lancet Oncol*. 2021 Jul;22(7):1023–1033. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(21\)00196-0](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(21)00196-0)
9. Singh R, Lehrer EJ, Dahshan B, Palmer JD, Sahgal A, Gerszten PC, et al. Single fraction radiosurgery, fractionated radiosurgery, and conventional radiotherapy for spinal oligometastasis (SAFFRON): A systematic review and meta-analysis. *Radiother Oncol*. 2020 May;146:76–89. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.01.030>

Информация об авторах:

Кит Олег Иванович – академик РАН, д.м.н., профессор, генеральный директор, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3061-6108>, SPIN: 1728-0329, AuthorID: 343182, ResearcherID: U-2241-2017, Scopus Author ID: 55994103100

Закондырин Дмитрий Евгеньевич – к.м.н., докторант отделения нейроонкологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0925-415X>, SPIN: 7298-0181, AuthorID: 703429

Росторгуев Эдуард Евгеньевич – д.м.н., заведующий отделением нейроонкологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2937-0470>, SPIN: 8487-9157, AuthorID: 794808, Scopus Author ID: 57196005138

Сакун Павел Георгиевич – к.м.н., заведующий отделением радиотерапии № 2, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8061-6259>, SPIN: 3790-9852, AuthorID: 734600, Scopus Author ID: 56531945400

Вошедский Виталий Игоревич – к.м.н., врач-радиотерапевт отделения радиотерапии № 2, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1405-8329>, SPIN: 4732-4005, AuthorID: 1032685, ResearcherID: Q-6122-2019, Scopus Author ID: 57215970384

Командиров Максим Александрович – медицинский физик отделения радиотерапии №2, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0273-9737>, SPIN: 9331-1278, AuthorID: 843316, Scopus Author ID: 36952848600

Вклад авторов:

Кит О. И. – разработка дизайна исследования, критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания, окончательное утверждение публикуемой версии рукописи;
Закондырин Д. Е. – разработка дизайна исследования, анализ полученных данных, написание текста рукописи;
Росторгуев Э. Е. – обзор публикаций по теме статьи, набор клинического материала, интерпретация результатов;
Сакун П. Г. – сбор, анализ и интерпретация данных, техническое редактирование;
Вошедский В. И. – разработка дизайна исследования, анализ полученных данных;
Командиров М. А. – сбор, интерпретация данных, техническое редактирование.