

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛАНИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С МЕТАСТАТИЧЕСКИМИ ПОРАЖЕНИЯМИ ПОЗВОНОЧНИКА

Санникова Е.О.¹, Лебеденко И.М.^{1,2}✉, Ханходжаев Ш.Ш.¹, Шастина Е.Н.², Черных М.В.¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России; Россия, 115478, Москва, Каширское шоссе, 24

² Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ; Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, 31

✉ Лебеденко Ирина Матвеевна, imlebedenko@mail.ru, +7 985-915-64-63

РЕФЕРАТ

Цель: Провести количественный анализ качества планирования облучения больных с метастатическими поражениями позвоночника, оценить дозовые нагрузки на критические органы, установить взаимосвязь индекса гомогенности и продолжительности жизни.

Материал и методы: Проведен количественный анализ планов стереотаксического облучения 65 леченных больных с симультантным интегрированным бустом (SIB). Также смоделированы планы (не реализованные) для группы пациентов с увеличенной предписанной дозой на пораженный позвонок, включающий невидимую предполагаемую зону микроскопического распространения злокачественных клеток. Оценены дозовые нагрузки в критических органах для планов облучения по технологии IMRT и VMAT с метастатическими поражениями позвоночника для обеих групп. Рассчитаны индексы гомогенности.

Результаты: Результаты количественного анализа планов стереотаксического облучения больных показали, что дозы в критических органах в смоделированных планах облучения несколько превышают те же дозы, но, тем не менее, сопоставимы с характеристиками методики интегрированного буста (SIB) и укладываются в толерантные значения доз в соответствии с международными критериями. Характеристики также сопоставимы по индексу гомогенности. Статистически не подтверждена гипотеза влияния на продолжительность жизни пациентов после ЛТ, в том числе величины индекса гомогенности как одного из факторов, влияющих на сроки дожития.

Смоделированные планы облучения больных с увеличенной предписанной дозой на пораженный позвонок, включающие невидимую предполагаемую зону микроскопического распространения злокачественных клеток, могут быть применены для реализации и лечения пациентов с метастатическими поражениями позвоночника. Рассчитаны индексы гомогенности HI . Показано, что сроки дожития для пациентов с дозой на PTV 25 Гр с $HI \geq 0,15$ ограничиваются 18 мес, а для $HI \leq 0,15$ увеличивается до 29 мес при уровне статистической значимости $p = 0,647$. Аналогично сроки дожития для пациентов с дозой на PTV 30 Гр с $HI \geq 0,15$ ограничиваются 16 мес, а для $HI \leq 0,15$ увеличивается до 29 мес при уровне статистической значимости $p = 0,936$, что отражает отсутствие различий между группами.

Выводы: Полученные результаты свидетельствуют о том, что гипотеза о взаимосвязи индекса гомогенности и продолжительности жизни не подтверждается. Для окончательных выводов необходимо продолжить исследование, возможно, с увеличением выборки или включением дополнительных влияющих факторов.

Ключевые слова: метастазы в позвоночник, лучевая терапия, планирование, количественный анализ, индекс гомогенности, сроки дожития

Для цитирования: Санникова Е.О., Лебеденко И.М., Ханходжаев Ш.Ш., Шастина Е.Н., Черных М.В. Количественная оценка качества планирования облучения больных с метастатическими поражениями позвоночника. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2024;7(4):40-47. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-4-40-47>

Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy

ISSN: 2587-7593 (Print) ISSN: 2713-167X (Online)

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ | RADIOTHERAPY

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-4-40-47>

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF IRRADIATION PLANNING FOR PATIENTS WITH METASTATIC LESIONS OF THE SPINE

Ekaterina O. Sannikova¹, Irina M. Lebedenko^{1,2}✉, Shavkat Sh. Khankhodzhaev¹, Ekaterina N. Shastina², Marina V. Chernykh¹

¹ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 24 Kashirskoye Shosse, Moscow, Russia, 115478

² National Research Nuclear University MEPhI; 31 Kashirskoye Shosse, Moscow, Russia, 115409

✉ Irina M. Lebedenko, imlebedenko@mail.ru, +7 985-915-64-63

ABSTRACT

Purpose: To conduct a quantitative analysis of the quality of irradiation planning for patients with metastatic lesions of the spine, to assess the dose load on critical organs for this category of patients, to establish the relationship between patient survival and the homogeneity index.

Material and methods: A quantitative analysis of stereotactic irradiation plans for 65 treated patients with simultaneous integrated boost (SIB) was performed. Plans (not implemented) were simulated for a group of patients with an increased prescribed dose to the affected vertebra, including an invisible expected zone of microscopic spread of malignant cells. Dose loads in critical organs for irradiation plans using IMRT and VMAT technology with metastatic lesions of the spine were estimated for both groups. Homogeneity indices were calculated.

Results: The results of the quantitative analysis of the plans for stereotactic irradiation of patients showed that the doses in critical organs in the simulated irradiation plans slightly exceed the same doses, but, nevertheless, are comparable with the characteristics of the integrated boost (SIB) technique and fit into the tolerable dose values in accordance with international criteria. The characteristics

are also comparable in terms of the homogeneity index. The hypothesis of the effect on the life expectancy of patients after RT, including the value of the homogeneity index as one of the factors affecting survival times, was not statistically confirmed.

The simulated irradiation plans for patients with an increased prescribed dose to the affected vertebra, including an invisible expected zone of microscopic spread of malignant cells, can be applied to the implementation and treatment of patients with metastatic lesions of the spine. Homogeneity indices *HI* were calculated. It was shown that the survival time for patients with a dose to the PTV of 25 Gy with $HI \geq 0.15$ is limited to 18 months, and for $HI \leq 0.15$ it increases to 29 months with a statistical significance level of $p = 0.647$. Similarly, the survival time for patients with a dose to the PTV of 30 Gy with $HI \geq 0.15$ is limited to 16 months, and for $HI \leq 0.15$ it increases to 29 months with a statistical significance level of $p = 0.936$, which reflects the absence of differences between the groups.

Conclusions: The obtained results indicate that the hypothesis about the influence of the homogeneity index on life expectancy is not confirmed. For final conclusions, it is necessary to continue the study, possibly with an increase in the sample or the inclusion of additional influencing factors.

Key words: spinal metastases, radiation therapy, planning, quantitative analysis, homogeneity index, survival time

For citation: Sannikova E.O., Lebedenko I.M., Khankhodzhaev Sh.Sh., Shastina E.N., Chernykh M.V. Quantitative Assessment of the Quality of Irradiation Planning for Patients with Metastatic Lesions of the Spine. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2024;7(4):40-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-4-40-47>

Введение

Злокачественные новообразования в тканях позвоночника образуются крайне редко, общее число таких случаев достигает не более 0,4 % от всех видов рака. Как правило, опухоли в костных структурах позвоночника являются метастазами из других органов. Для нашей группы из 65 пациентов эти данные сведены в табл. 1, где ГШ обозначает злокачественные новообразования органов головы и шеи. Рак молочной железы (МЖ) был наиболее распространенным первичным диагнозом — 26,2 %. Второе и третье места в основной группе заняли рак легких и рак почки, по 12,3 % каждый.

При лучевой терапии костных метастазов применяется методика стереотаксической лучевой терапии (СЛТ), которая подразумевает применение высоких доз радиации. При наличии противопоказаний к применению этого метода, альтернатив-

ным режимом лучевой терапии может стать методика увеличения дозы в очаге поражения методом симультантного интегрированного буста (SIB или СИБ), которая и была применена для нашей группы пациентов. Проведение ЛТ позволяет уменьшить или полностью убрать болевой синдром, уничтожить метастатические поражения либо существенно уменьшить их размеры и, как результат, улучшить качество и увеличить продолжительность жизни пациента.

Материал и методы

Проведена количественная оценка качества планирования облучения 65 пациентов с метастатическими поражениями позвоночника, в том числе, с применением симультантного интегрированного буста, а именно:

- проанализированы реализованные планы облучения прослеженной клинической группы из 65 пациентов с метастатическими поражениями позвоночника;
- смоделированы планы (не реализованные) для группы пациентов с увеличенной предписанной дозой на пораженный позвонок, включающий невидимую предполагаемую зону микроскопического распространения злокачественных клеток;
- оценены дозовые нагрузки на критические органы для двух групп;
- оценены индексы гомогенности распределения дозы в мишени *HI* для прослеженной группы из 65 пациентов с метастатическими поражениями позвоночника;
- установлена взаимосвязь между кривыми выживаемости и индексами гомогенности дозы в опухоли.

Пациенты были разделены на группы по отделам пораженных участков позвоночника: шейный, грудной, поясничный и крестцовый. Для каждого пациента рассчитан план с симультанным интегрированным бустом методами модулированной лучевой терапией IMRT и VMAT. При этом использованы различные терапевтические дозы для нескольких целевых объемов с целью защиты здоровых органов

Таблица 1. Исходные нозологические формы рака больных с метастазами в позвоночник

Table 1. Initial nosological forms of cancer in patients with metastases to the spine

Категория	Основная группа n = 65 (100 %)	
	n	%
Исходная нозологическая форма		
ГЦР и РЖП 1	6	9,2
ЗНО ОГШ	1	1,5
Меланома	2	3,1
Метастазы без ВПО	4	6,2
Рак легкого (2)	8	12,3
Рак желудка	1	1,5
Рак молочной железы (1)	17	26,2
Рак надпочечника	1	1,5
Рак поджелудочной железы	1	1,5
Рак почки (2)	8	12,3
Рак предстательной железы	2	3,1
Рак прямой кишки	5	7,7
Рак тела матки	3	4,6
Рак толстой кишки	4	6,2
Рак щитовидной железы	0	0
Саркомы	2	3,1

Таблица 2. Значения толерантных доз по международным рекомендациям QUANTEC [1]
Table 2. Tolerant dose values according to international recommendations QUANTEC [1]

Органы риска	Максимально допустимая доза за 5 фракций
Позвоночный канал	28 Гр
Тонкая кишка/12-перстная кишка	30 Гр
Желудок/пищевод	32 Гр
Толстая кишка	38
Сосуды	53
Сердца	38
Ребра	43
Кожа	30
	Максимально допустимые значения доза/объем
Почки	$V_{17,5 \text{ Гр}} < 70 \%$
Грудная/брюшная стенка	$V_{35 \text{ Гр}} < 30 \%$ см ³
Печень	≥ 700 см ³ объема непораженной части печени

Таблица 3. Ранжирование пациентов по дозам и зонам подведения
Table 3. Ranking of patients by doses and delivery zones

Назначение дозы	Куда приходится доза				
	I группа 25 пациентов	II группа 11 пациентов	III группа 3 пациента	IV группа 30 пациентов (не облучены)	V группа 9 пациентов (не облучены)
На пораженную зону	30 Гр	35 Гр	28 Гр	30 Гр	35 Гр
На весь позвонок	25 Гр	25 Гр	25 Гр	30 Гр	35 Гр

и тканей. По подведенным к мишени дозам пациенты разбиты на три подгруппы:

- первая группа (25 человек) — 30 Гр предписаны на непосредственно пораженную область и 25 Гр — на весь позвонок;
- вторая группа (11 человек) — 35 Гр предписаны на непосредственно пораженную область и 25 Гр на весь позвонок соответственно;
- третья группа (3 человека) — 28 Гр предписаны на непосредственно пораженную область и 25 Гр на весь позвонок соответственно.

Каждый план рассчитан согласно критериям международных рекомендаций (Timmerman, QUANTEC) (табл. 2). Для каждого пациента собраны данные о дозах, полученных 2 %, 50 % и 98 % объема опухоли. Для каждого критического органа собраны данные о максимальной или модальной дозе (наиболее часто встречаемой), полученной им.

Моделирование планов (без их реализации) для группы пациентов с увеличенной предписанной дозой на пораженный позвонок, включающий невидимую предполагаемую зону микроскопического распространения злокачественных клеток

Разделение клинического объема облучения на две области с более низкой и высокой дозой применяется для снижения нагрузки на здоровые ткани. Основным критическим органом является спинной мозг, который непосредственно входит в зону облучения. Ограничения по максимальной дозе на него для пяти фракций составляет 28 Гр. Но в боль-

шинстве случаев для достижения максимального эффекта лечения требуется подвести на метастаз более высокую дозу. Поэтому для сравнения в работе были смоделированы планы лечения для тех же 39 пациентов (1, 2, 3 группы) с сохранением направлений полей облучения (не реализованные). При этом на весь клинический объем была предписана доза либо 30 Гр, либо 35 Гр с выведением спинного мозга из зоны облучения (табл. 3, рис. 1, 2). Для этой группы также были собраны данные о дозах, приходящихся на 98 %, 2 % и 50 % объема опухоли. Аналогично для каждого пациента была собрана информация о максимальных и модальных дозах, которые могли бы получить критические органы в процессе лечения.

Результаты

Проведен количественный анализ, в ходе которого были построены графики для всех планов. Для оценки покрытия мишени был выбран объем GTV, так как в обоих случаях на него предписывается одинаковая доза. В качестве критерия оценки были выбраны критерии $D_{98\%} \geq 95\%$ (допускается 93 %), т. е. 98 % объема должны быть покрыты 95 % изодозой (рис. 3), и $D_{2\%} \leq 107\%$ (допускается 110 %), то есть 2 % объема не должны получить дозу больше 107 % (рис. 4). По построенным графикам видно, что для большинства случаев покрытие GTV не ухудшается при подведении большей дозы на весь клинический объем.

Средние значения дозы на объем GTV были следующими: при использовании метода SIB состави-

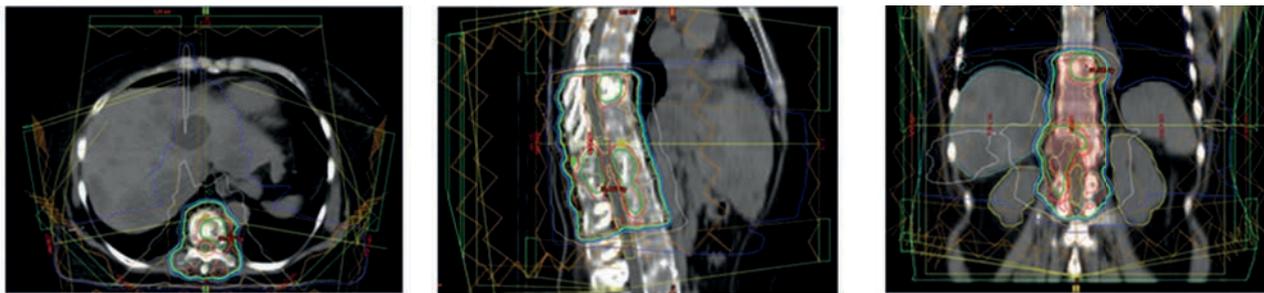


Рис. 1. План облучения для SIB (25/30 Гр)
Fig. 1. Radiation plan for SIB (25/30 Gy)

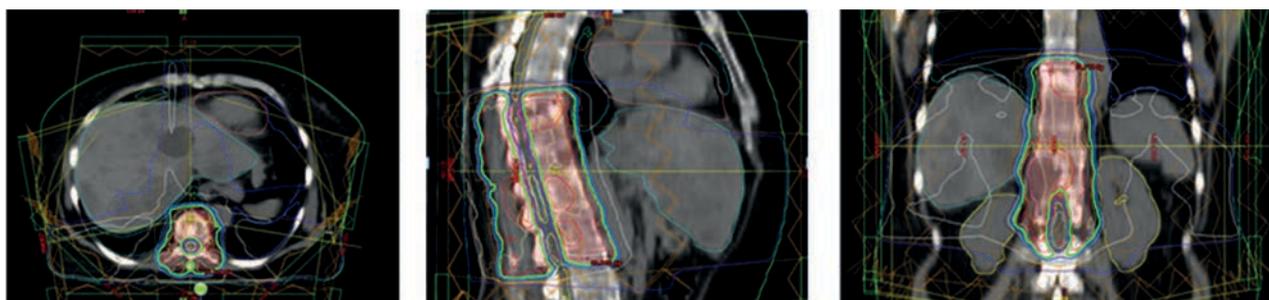


Рис. 2. План облучения для 30 Гр на весь клинический объем
Fig. 2. Irradiation plan for 30 Gy for the entire clinical volume

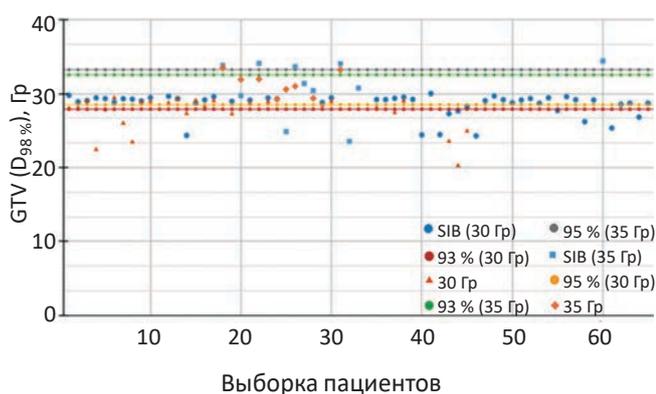


Рис. 3. Значения дозы в Гр на объемы GTV ($D_{98\%}$) для выборки из 65 пациентов
Fig. 3. Dose values in Gy per GTV volume ($D_{98\%}$) for a sample of 65 patients

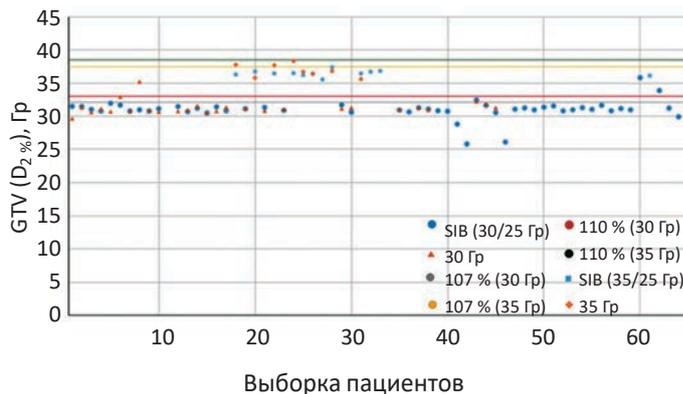


Рис. 4. Значения дозы в Гр на объемы GTV ($D_{2\%}$) для выборки из 65 пациентов
Fig. 4. Dose values in Gy per GTV volume ($D_{2\%}$) for a sample of 65 patients

ли 31,4 Гр, а в смоделированной ситуации — 31,0 Гр при уровне статистической значимости $p = 0,003$. Средние значения модальной дозы на GTV при применении SIB составили 31,6 Гр, в то время как в смоделированной ситуации — 31,1 Гр при $p = 0,001$.

Хотя различия в дозах невелики, они статистически значимы. Это означает, во-первых, что применение методики SIB приводит к увеличению общей дозы на объем GTV (31,4 Гр по сравнению с 31,0 Гр), что может свидетельствовать о более эффективном радиационном воздействии на опухоль. Это может быть связано с более высокими шансами на успешное лечение, учитывая целенаправленное воздействие на опухолевую массу. Во-вторых, доза на критические органы при облучении методикой SIB

была ниже или не превышала отмеченные дозы при облучении в объеме 6 Гр за 5 фракций. Это указывает на преимущества метода SIB в снижении риска повреждения здоровых тканей и органов. Особенно при повторном облучении, когда органы риска до нашего лечения уже получили критическую дозу при предыдущих курсах ЛТ, что крайне важно в ЛТ. Таким образом, наши данные демонстрируют преимущества методики SIB как в плане повышения дозы на опухоль, так и в снижении радиационной нагрузки на критические органы. Эти аспекты могут повысить выживаемость и качество жизни пациентов с метастазами в позвоночник, что требует дальнейшего изучения и подтверждения в клинической практике.

Оценка дозовых нагрузок на критические органы для двух групп

Далее для всех отделов позвоночника была оценена лучевая нагрузка на спинной мозг. В качестве критериев были выбраны максимальная доза (рис. 5) и модальная доза (рис. 6). Как видно из графика рис. 5, увеличение дозы на весь облучаемый объем для более чем 90 % пациентов не приводит к превышению толерантной дозы на спинной мозг. Средние значения максимальной дозы на спинной мозг составили в случае лечения SIB $26,4 \pm 1,2$ Гр, в смоделированной ситуации — $27,0 \pm 0,2$ Гр при уровне статистической значимости $p = 0,578$. Средние значения модальной дозы на спинной мозг составили (рис. 6) в случае лечения SIB $14,0 \pm 1,4$ Гр, в смоделированной ситуации — $19,0 \pm 0,5$ Гр ($p = 0,889$). Для планов облучения шейного и грудного отделов позвоночника также оценены максимальная и модальная дозы на пищевод (рис. 7, 8).

Для обеих методик лечения максимальная доза для 100 % пациентов не превышает толерантное значение. Однако можно заметить, что как для максимального, так и для модальных значений доза на пищевод увеличивается в смоделированной ситуации. При этом средние значения максимальной дозы на пищевод составили в случае лечения

SIB $24,2 \pm 0,7$ Гр; в смоделированной ситуации — $29,0 \pm 0,8$ Гр ($p = 0,252$). Средние значения модальной дозы на пищевод составили в случае лечения SIB $5,0 \pm 0,6$ Гр, в смоделированной ситуации — $14,0 \pm 1,4$ Гр ($p = 0,643$). Для планов лечения грудного отдела проведена оценка значений максимальной и модальных доз на сердце (рис. 9, 10). Для двух методик лечения полученные значения максимальной дозы для 100 % пациентов не превышали толерантные значения. Средние значения максимальной дозы на сердце составили (рис. 9) в случае лечения SIB $11,8 \pm 4,0$ Гр; в смоделированной ситуации — $15,8 \pm 2,4$ Гр при $p = 0,037$.

Статистическая значимость результатов $p = 0,037$ указывает на то, что разница между двумя методиками действительно значима и не является случайной. Это может говорить о том, что методика SIB может быть более предпочтительной с точки зрения ограничения облучения сердечно-сосудистой системы. Средние значения модальной дозы на сердце составили (рис. 10) в случае лечения SIB $1,0 \pm 0,5$ Гр, в смоделированной ситуации — $1,2 \pm 0,5$ Гр ($p = 0,179$); при этом средняя доза для сердца составила 2,4 Гр (SIB) и 3,2 Гр (5 × 6 Гр) соответственно при $p = 0,018$. Также для грудного отдела

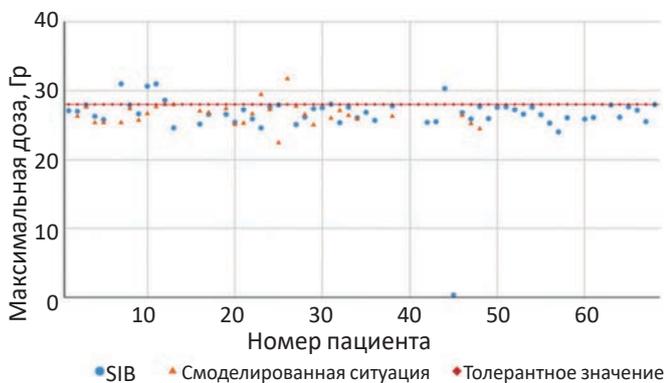


Рис. 5. Максимальные значения дозы на спинной мозг
Fig. 5. Maximum doses to the spinal cord

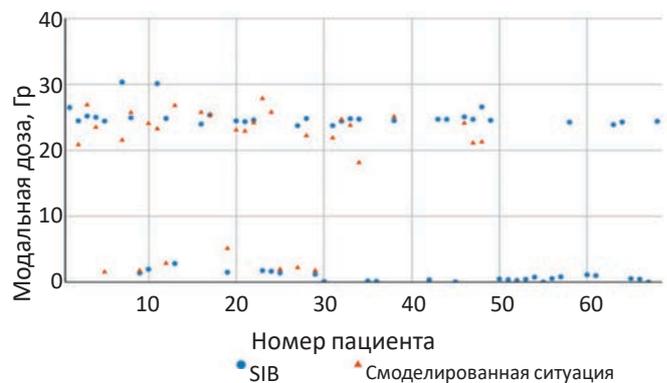


Рис. 6. Модальные значения дозы на спинной мозг
Fig. 6. Modal dose values to the spinal cord

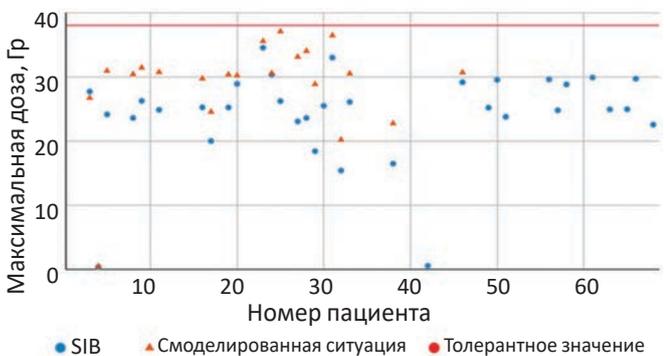


Рис. 7. Максимальное значение дозы на пищевод
Fig. 7. Maximum values of doses to the esophagus

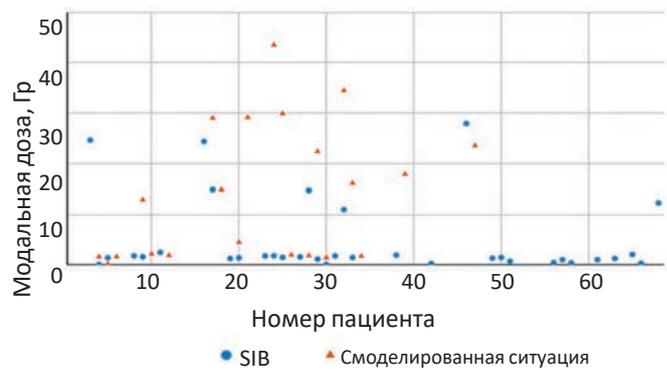


Рис. 8. Модальные значения дозы на пищевод
Fig. 8. Modal dose values to the esophagus

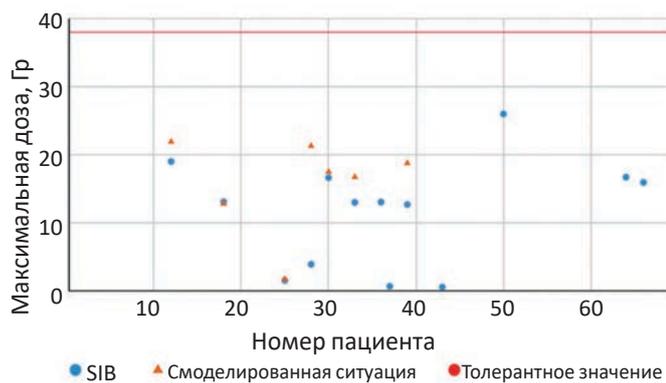


Рис. 9. Максимальное значение дозы на сердце
Fig. 9. Maximum values of doses to the heart

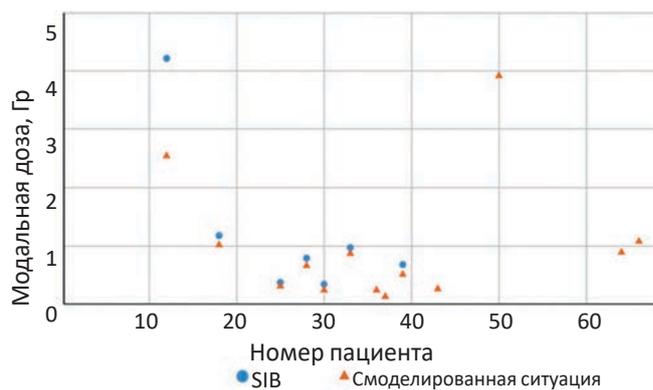


Рис. 10. Модальные значения дозы на сердце
Fig. 10. Modal dose values to the heart

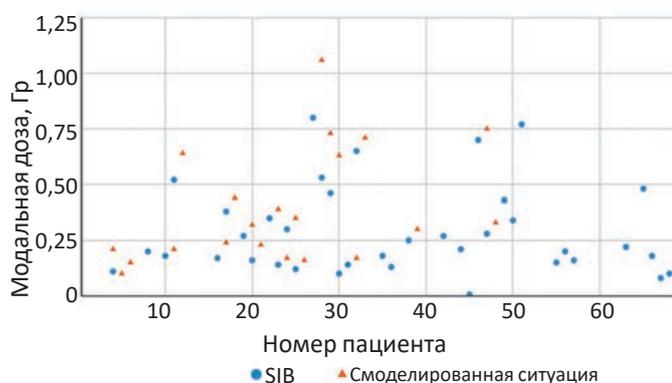


Рис. 11. Модальные значения дозы на легкие
Fig. 11. Modal dose values to the lungs

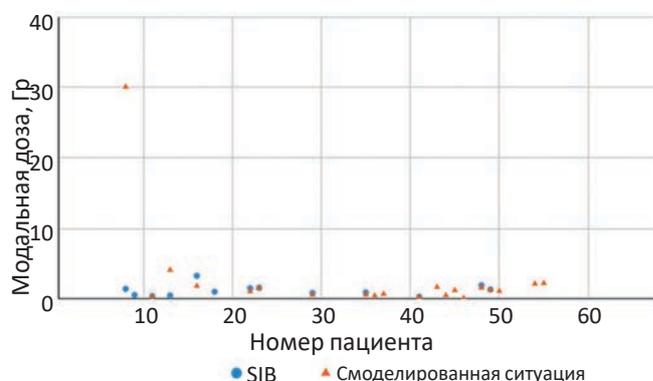


Рис. 12. Модальные значения дозы на почки
Fig. 12. Modal dose values to the kidneys

позвоночника получены данные о модальной дозе на легкие (рис. 11).

При расчете планов лечения без интенсивного буста наблюдалась тенденция увеличения модальных значений дозы на каждого пациента до 1,06 Гр. Средние значения модальной дозы на легкие составили (рис. 11) в случае лечения SIB $0,30 \pm 0,03$ Гр, а в смоделированной ситуации — $0,40 \pm 0,05$ Гр ($p = 0,001$). При рассмотрении грудного, поясничного и крестцовых отделов позвоночника получены сведения о модальных значениях доза на почки. Средние значения модальной дозы на почки составили (рис. 12) в случае лечения SIB $1,0 \pm 0,2$, в смоделированной ситуации — $2,7 \pm 0,9$ ($p = 0,396$).

Таким образом, были оценены средние максимальные и модальные значения доз для каждого органа для двух методик — SIB и смоделированных планов. Сводные данные по этим параметрам приведены в табл. 4.

В группе больных со смоделированными планами для всех критических органов наблюдается значительное увеличение модальной дозы. Так, например, в сравнении с группой SIB доза в этих планах на спинной мозг превышает на 4,9 Гр; на пищевод — на 9,2 Гр; на сердце — на 0,2 Гр; на легкие — на 0,1 Гр; на почки — на 1,5 Гр. Количественные характеристики,

а именно, дозы на критические органы для смоделированной методики облучения несколько больше, но, тем не менее, сопоставимы с аналогичными характеристиками методики SIB по индексу гомогенности и укладываются в толерантные значения в соответствии с международными критериями.

Оценка равномерности распределения дозы по индексу гомогенности

Дозовая гомогенность характеризует однородность распределения дозы в пределах объема мишени. Для планов лечения методом SIB были рассчитаны индексы гомогенности для двух клинических объемов в 25 Гр и 30 Гр.

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (1)$$

По полученным значениям были построены значения индекса гомогенности для каждого из объемов (рис. 13, 14).

Установление взаимосвязи между кривыми выживаемости и индексами гомогенности дозы в опухоли

Следующим этапом нашей работы было сопоставление качества планирования рассмотренной группы пациентов с данными о выживаемости боль-

Таблица 4. Средние максимальные и модальные значения органной дозы для методик SIB и смоделированных планов

Table 3. Average maximum and modal dose values for each organ for SIB and simulated plans

	SIB		Смоделированная ситуация	
	Максимальная доза, Гр	Модальная доза, Гр	Максимальная доза, Гр	Модальная доза, Гр
Спинальный мозг	26,4 ± 1,2	14,0 ± 1,4	27,0 ± 0,2	19,0 ± 0,5
Пищевод	24,2 ± 0,7	5,0 ± 0,6	29,0 ± 0,8	14,0 ± 1,4
Сердце	11,8 ± 4,0	1,0 ± 0,5	15,8 ± 2,4	1,2 ± 0,5
Легкие		0,30 ± 0,03		0,40 ± 0,05
Почки		1,0 ± 0,2		2,7 ± 0,9

ных, т.е. оценка взаимосвязи между значениями индексов гомогенности и данными выживаемости пациентов (рис. 13, 14). Отметим, что уже на графиках рис. 13, 14 отчетливо прослеживается тенденция увеличения сроков жизни с уменьшением величины индекса гомогенности.

Среднее значение индекса гомогенности составило: $HI_{25\text{Гр}} = 0,12$; $HI_{30\text{Гр}} = 0,13$.

Мы провели переименование и перенормировку вертикальной оси и построили зависимость доли выживших пациентов от сроков дожития и индексов гомогенности. При этом вся исходная исследуе-

мая группа 65 больных была принята за 1 или 100 % (ось Y). По полученным значениям индексов гомогенности для обоих клинических объемов (30 Гр и 25 Гр) построены графики зависимости (рис. 15, 16) сроков дожития в зависимости от величины индекса гомогенности.

Из графика рис. 15 видно, что сроки дожития для пациентов с $HI \geq 0,15$ ограничиваются 18 мес, а для $HI < 0,15$ сроки дожития увеличивается до 29 мес при уровне статистической значимости $p = 0,647$. Из графика рис. 16 также видно, что сроки дожития для пациентов с $HI \geq 0,15$ ограничиваются

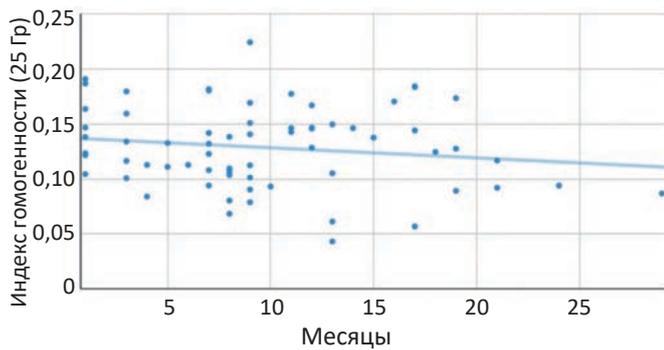


Рис. 13. Зависимость индекса гомогенности HI для дозы 25 Гр от прожитого времени

Fig. 13. Dependence of the homogeneity index HI for a dose of 25 Gy on months lived

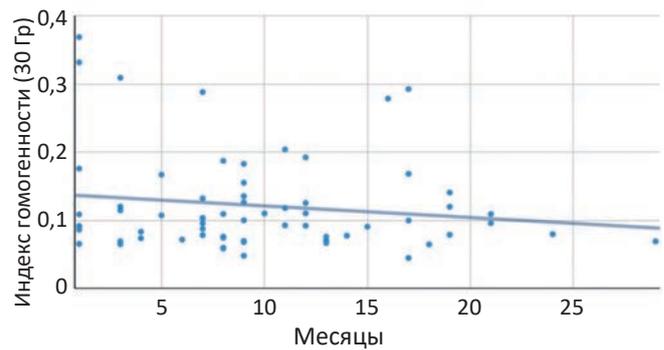


Рис. 14. Зависимость индекса гомогенности HI для дозы 30 Гр от прожитого времени

Fig. 14. Dependence of the homogeneity index HI for a dose of 30 Gy on months lived

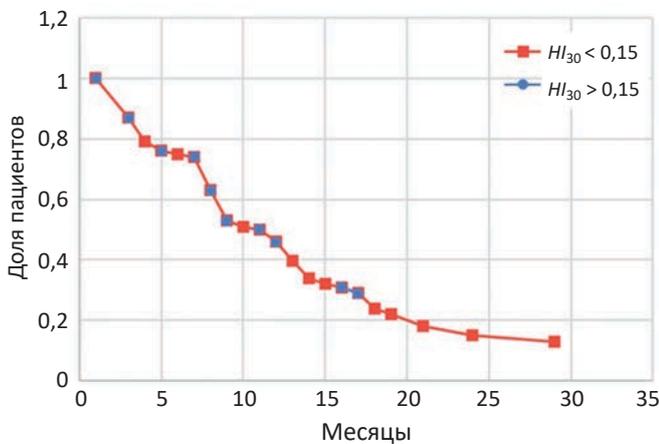


Рис. 15. Зависимость доли выживших пациентов от сроков дожития и индексов гомогенности для 30 Гр

Fig. 15. Dependence of the proportion of surviving patients on survival times and homogeneity indices for 30 Gy

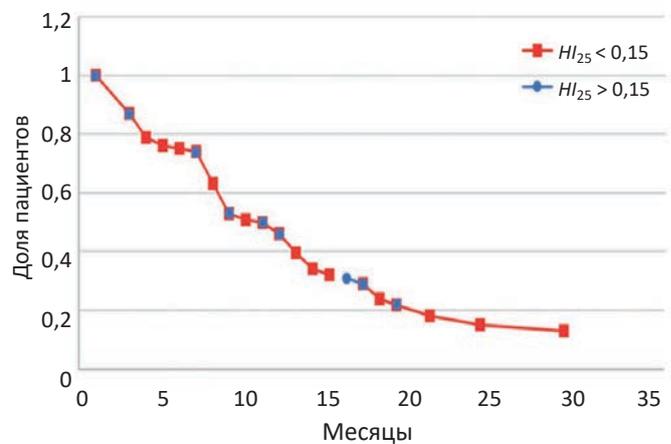


Рис. 16. Зависимость доли выживших пациентов от сроков дожития и индексов гомогенности для 25 Гр

Fig. 16. Dependence of the proportion of surviving patients on survival times and homogeneity indices for 25 Gy

16 мес, а для $HI \leq 0,15$ сроки дожития увеличиваются до 29 мес при уровне статистической значимости $p = 0,936$. Значение $p = 0,647$ указывает на статистически незначимое влияние индекса гомогенности на продолжительность жизни в нашей выборке. В медицине принято считать низшим уровнем статистической значимости 5 %-ный уровень ($p \leq 0,05$): достаточным — 1 %-ный уровень ($p \leq 0,01$) и высшим — 0,1 %-ный уровень ($p \leq 0,001$), поэтому в таблицах критических значений обычно приводятся значения критериев, соответствующих уровням статистической значимости $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$. Пока уровень статистической значимости не достигнет $p \leq 0,05$, мы не можем утверждать, что наша гипотеза является статистически значимой.

Заключение

Проведен количественный анализ планов облучения больных с метастатическими поражениями позвоночника. Смоделированы планы для группы пациентов с увеличенной предписанной дозой на пораженный позвонок, включающий предполагаемую зону микроскопического распространения опухолевых клеток. Рассчитаны дозовые нагрузки на критические органы для реальных и смоделированных планов. Показано, что смоделированные планы для группы пациентов с увеличенной предписанной дозой на пораженный позвонок, включающий невидимую предполагаемую зону микроскопического распространения злокачественных клеток, могут быть применены для реализации и лечения пациентов с метастатическими поражениями позвоночника. При этом дозы на критические органы находятся в пределах толерантности в соответствии с международными стандартами.

Сопоставление планов SIB и смоделированных планов демонстрирует преимущества методики SIB как в плане повышения дозы на опухоль, так и в снижении радиационной нагрузки на критические органы. Эти аспекты могут повысить выживаемость и качество жизни пациентов с метастазами в позвоночник, что требует дальнейшего изучения и подтверждения в клинической практике.

Показано, что сроки дожития для пациентов с дозой на PTV 25 Гр с $HI \geq 0,15$ ограничиваются 18 мес, а для $HI \leq 0,15$ увеличивается до 29 мес при уровне статистической значимости $p = 0,647$. Аналогично,

сроки дожития для пациентов с дозой на PTV 30 Гр с $HI \geq 0,15$ ограничиваются 16 мес, а для $HI \leq 0,15$ увеличивается до 29 мес при уровне статистической значимости $p = 0,936$, что отражает отсутствие различий между группами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что гипотеза о взаимосвязи индекса гомогенности и продолжительности жизни данной категории пациентов не подтверждается. Для окончательных выводов необходимо продолжить исследование, возможно, с увеличением выборки или включением дополнительных влияющих факторов.

Список литературы / References

1. Quantitative analysis of normal tissue effects in the clinic (QUANTEC). Review on the tolerance of normal tissue to therapeutic radiation. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2010;76(3):1-120.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.09.040>
2. ICRU Report No. 83. Journal of the ICRU.2010;10(1):40-2.
3. Беликова АА, Герасимов ВА, Иванов СА, Даценко ПВ. Факторы риска локального и дистантного прогрессирования у больных немелкоклеточным раком легкого и молочной железы после облучения всего объема головного мозга. Медицинская физика. 2021;(2):29-38.
Belikova AA, Gerasimov VA, Ivanov SA, Datsenko PV. Risk factors for local and distant progression in patients with non-small cell lung and breast cancer after irradiation of the entire brain volume. Medical Physics. 2021;(2):29-38. (In Russ.).

Вклад авторов

И.М. Лебедеко: постановка задачи, написание текста рукописи.
Е.О. Санникова: подбор группы больных, коррекция текста статьи.
Е.Н. Шастина: обработка данных, расчеты.
Ш. Ханходжаев: ведение больных, создание базы данных
М.В. Черных: ведение больных, создание базы данных

Authors' contributions

Irina M. Lebedenko: problem statement, writing the manuscript.
Ekaterina O. Sannikova: selection of a group of patients, correction of the article text.
Ekaterina N. Shastina: data processing, calculations.
Shavkat Sh. Khankhodzhaev: patient management, database creation
Marina V. Chernykh: patient management, database creation

Information about the authors

Irina M. Lebedenko <https://orcid.org/0000-0003-0634-7841>
Marina V. Chernykh, <https://orcid.org/0000-0003-4944-4035>
Shavkat Sh. Khankhodzhaev, <https://orcid.org/0009-0007-4553-7070>

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ (Договор №02.а03.21.0005)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Информированное согласие. Пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Соответствие принципам этики. Одобрение этического комитета не требовалось.

Тип статьи: Оригинальная статья.

Поступила: 16.09.2024.

Принята к публикации: 02.11.2024.

Опубликована online: 26.12.2024.

Funding. The work was carried out with the support of the Program for Improving the Competitiveness of National Research Nuclear University MEPhI (Agreement No. 02.a03.21.0005)

Conflict of interests. Not declared.

Informed consent. Patients signed informed consent to participate in the study.

Ethical compliance. Ethical committee approval was not necessary.

Article type: Original article.

Received: 16.09.2024.

Accepted for publication: 02.11.2024.

Published online: 26.12.2024.