

УДК 539.1.07;615.849

<https://doi.org/10.25587/2222-5404-2025-22-2-48-58>

Оригинальная научная статья

Статистика индексов гомогенности дозы в мишени при планировании облучения при различных нозологиях

И. М. Лебеденко

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина

Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация

✉ imlebedenko@mail.ru

Аннотация

Любое технологическое решение тогда имеет право быть применимым и широко распространенным, когда это оправдано с клинической точки зрения – то есть когда в результате применения данной технологии повышается выживаемость больных в сравнении с предыдущими. Цель работы заключается в систематизации накопленных в течение последних восьми лет результатов о статистике индексов гомогенности дозы в мишени при планировании облучения для нескольких нозологий. При достижении толерантных значений индекса гомогенности снижается вероятность возникновения рецидивов опухолей, что влечет за собой увеличение продолжительности жизни больных. Рассчитаны индексы гомогенности в мишени при планировании облучения больных. Получены зависимости индексов гомогенности HI дозы в пределах мишени от технологии облучения. С учетом прогностических возможностей индекса HI для безрецидивной выживаемости выбрана оптимальная технология облучения больных для каждой из нозологий. Показано, что при облучении рака шейки матки желателно применять технологии 3D конформной лучевой терапии 3D КЛТ и лучевую терапию с модуляцией по интенсивности IMRT, при раке легкого и предстательной железы – технологии лучевой терапии с модуляцией по интенсивности в ротационном режиме RapidArc. Рак молочной железы желателно облучать по технологии 3D КЛТ. Показано также, что протяженность облучаемых мишеней определенно влияет на величину индекса гомогенности и его толерантных значений. Возможна оптимизация планов облучения путем подбора технологии облучения для достижения HI в пределах толерантности. Рассматриваемые технологии конформной лучевой терапии 3D КЛТ, IMRT, RapidArc можно считать состоятельными, так как в большинстве случаев они позволяют достичь нужной гомогенности в мишени и существенно снизить вероятность возникновения рецидивов у онкологических больных.

Ключевые слова: лучевая терапия, индексы гомогенности в мишени, статистика, оценка качества планирования, современные технологии, безрецидивная выживаемость, рак молочной железы, рак предстательной железы, рак шейки и тела матки, опухоли центральной нервной системы, рак орофарингеальной зоны, рак пищевода

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки

Для цитирования: Лебеденко И. М. Статистика индексов гомогенности дозы в мишени при планировании облучения при различных нозологиях. *Вестник СВФУ*. 2025, Т. 22, № 2. С. 48–58. DOI: 10.25587/2222-5404-2025-22-2-48-58

Original article

Statistics of dose homogeneity indices in the target when planning irradiation for various nosologies

Irina M. Lebedenko

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia,
Moscow, Russian Federation

✉ imlebedenko@mail.ru

Abstract

Any technological solution then has the right to be applicable and widely distributed when it is justified from a clinical point of view. That is, when as a result of the application of the technology the survival rate of patients increases in comparison with the previous one. The purpose of the work is to systematize the results accumulated over the past eight years on the statistics of dose homogeneity indices in the target when planning irradiation for several nosologies. When reaching tolerant values of the homogeneity index, the probability of tumor recurrence decreases, which entails an increase in the life expectancy of patients. Homogeneity indices in the target were calculated when planning irradiation of patients. Dependences of the HI dose homogeneity indices within the target on the irradiation technology were obtained. Taking into account the prognostic capabilities of the HI index for relapse-free survival, the optimal technology for irradiating patients for each nosology was selected. It has been shown that when irradiating cervical cancer, it is desirable to use 3D conformal radiation therapy 3DCRT and intensity-modulated radiation therapy IMRT, and for lung and prostate cancer, intensity-modulated radiation therapy in the RapidArc rotational mode. It is desirable to irradiate breast cancer using 3D CRT technology. It is also shown that the length of the irradiated targets has a pronounced effect on the homogeneity index and its tolerance values. It is possible to optimize irradiation plans by selecting the irradiation technology to achieve HI within the tolerance limits. The considered technologies of conformal radiation therapy 3D CRT, IMRT, Rapid Arc can be considered viable, since in most cases they allow achieving the desired homogeneity in the target and, thus, significantly reduce the likelihood of relapses in cancer patients.

Keywords: radiotherapy, target homogeneity indices, statistics, planning quality assessment, modern technologies, relapse-free survival, breast cancer, prostate cancer, cervical and uterine cancer, central nervous system tumors, oropharyngeal cancer, esophageal cancer

Funding. No funding was received for writing this manuscript

For citation: Lebedenko I. M. Statistics of dose homogeneity indices in the target when planning irradiation for various nosologies. *Vestnik of NEFU*. 2025, Vol. 22, No. 2. Pp. 48–58. DOI: 10.25587/2222-5404-2025-22-2-48-58

Введение

Главным критерием качества лечения в клинике является выживаемость больных после лечения при трех- и пятилетнем наблюдении. При отсутствии возможности длительного наблюдения за больными используются прогностические характеристики [1]. В лучевой терапии (ЛТ) таковым может быть индекс гомогенности дозы HI, который является одной из характеристик качества

планирования облучения онкологических больных. Поэтому оценка качества планирования актуальна. Цель работы заключалась в систематизации накопленных в течение последних восьми лет результатов о статистике индексов гомогенности дозы в мишени при планировании облучения для нескольких нозологий. На основании анализа литературных данных [1–5] выделены факторы, позволяющие прогнозировать безрецидивную выживаемость пациентов. В работе [1] показано, что наиболее значимым из всей совокупности факторов для прогноза и зависящим от физика при планировании облучения оказался индекс гомогенности распределения дозы HI внутри клинического (CTV) или планируемого (PTV) объемов. Чем ближе индекс к нулю при планировании облучения, тем ниже вероятность возникновения рецидивов и выше выживаемость больных. Частота рецидивирования растет при значениях индекса HI, превышающих 0,12. Существенную роль в этом вопросе играет также индекс конформности дозы в мишени CI и дозы в критических структурах. В работе будут приведены сведения только об индексах гомогенности и дозах в критических органах (модальных дозах), где это необходимо для соблюдения логики изложения материала.

Материалы и методы

Оценено качество планирования облучения больных при нескольких нозологиях: раке предстательной железы РПЖ (две группы: 30 и 40 пациентов), раке шейки матки РШМ (72 пациентки) и тела матки (94 пациентки), раке молочной железы РМЖ (разнесенные во времени две группы по 30 пациенток), при опухолях орофарингеальной зоны ОФР (30 пациентов), раке легкого РЛ (60 пациентов) и пищевода РП (23 пациента), при опухолях ЦНС (10 пациентов). Для оценки качества планов облучения больных по технологиям 3D конформной ЛТ (3D КЛТ), ЛТ с модуляцией интенсивности (IMRT), ЛТ с модуляцией интенсивности в ротационном режиме (RapidArc) использованы индексы гомогенности дозы в мишени [5]. Дистанционное облучение всех групп проведено на ускорителях электронов моделей Clinac iX (Varian, США), Halcyon (Varian, США), TrueBeam (Varian) с энергией фотонного излучения 6 МВ и многолепестковым коллиматором (МЛК). Расчет планов облучения осуществлялся на системах планирования (СП) Eclipse (Varian) различных версий при помощи алгоритма AAA (AnisotropicAnalyticalAlgorithm), основанного на математической функции учета рассеяния.

Дозовая гомогенность HI

В соответствии с международными рекомендациями для технологий 3DКЛТ, IMRT и RapidArc HI рассчитывается по кумулятивной гистограмме доза–объем как отношение разницы дозы около максимума, охватывающей 2% мишени или критического органа $D_{2\%}$, $D_{98\%}$ – минимального значения дозы, охватывающего 98% объема мишени (или критического органа), к $D_{50\%}$, которое характеризует нормирующее значение [3–5]. В идеальном случае при HI=0 дозовое распределение полностью однородное. С учетом известных неопределенностей принята суммарная погрешность подведения дозы в опухоль в пределах от -5% до +7% от предписанной дозы, которая и отражает гомогенность распределения дозы.

Характеристика некоторых клинических групп

Облучение больных РПЖ осуществлялось в стандартном режиме фракционирования в три этапа до суммарной дозы СД = 74 Гр при РД = 2 Гр за фракцию, 5 дней в неделю.

Группа из 72 пациенток с распространенным РШМ 2–3 стадии получала СД = 50 Гр при разовой дозе РД = 2 Гр и разделена на три подгруппы. В первой группе проводилась лучевая терапия в режиме Rapid Arc, во второй – IMRT, в третьей – 3D КЛТ.

Первая группа РМЖ (30 пациенток) вошла в комплексную группу и проанализирована по индексу гомогенности при облучении по технологии 3D КЛТ на ускорителе Clinac iX (рис. 1). Вторая группа больных РМЖ из 30 пациенток с планируемой СД = 40,05 Гр при РД = 2,67 Гр разделена на две подгруппы по 15 пациенток. Проведено планирование ЛТ по технологиям IMRT и RapidArc для правой МЖ (15 пациенток) и левой МЖ (15 пациенток). Тридцать (30) пациенток из контрольной группы облучались по технологии 3D КЛТ.

Оценка планов облучения 60 пациентов раком легкого (РЛ) осуществлялась с использованием техники задержки дыхания. Первая группа включала 35 пациентов с центральным раком левого и правого легкого, вторая группа – 25 пациентов с центральным раком левого и правого легкого. Суммарная доза на мишень СД = 60 Гр, разовая доза РД = 2 Гр.

Результаты

Рак МЖ, РПЖ, рак орофарингеальной зоны

Проанализированы индексы гомогенности дозы в планируемом объеме мишени без разделения по технологиям для 30 пациентов раком молочной железы, 30 – раком предстательной железы, 30 – раком орофарингеальной зоны (рис. 1). Для более чем 90% больных РПЖ и ОФР величина HI находится в интервале до 0,12. Для 96% пациентов орофарингеальной зоны (ротоглотка) индекс гомогенности дозы находился также в пределах до 0,12. Практически для всех пациентов РМЖ индекс гомогенности превышает толерантное значение HI = 0,12 (горизонтальная линия на графике рис. 1).

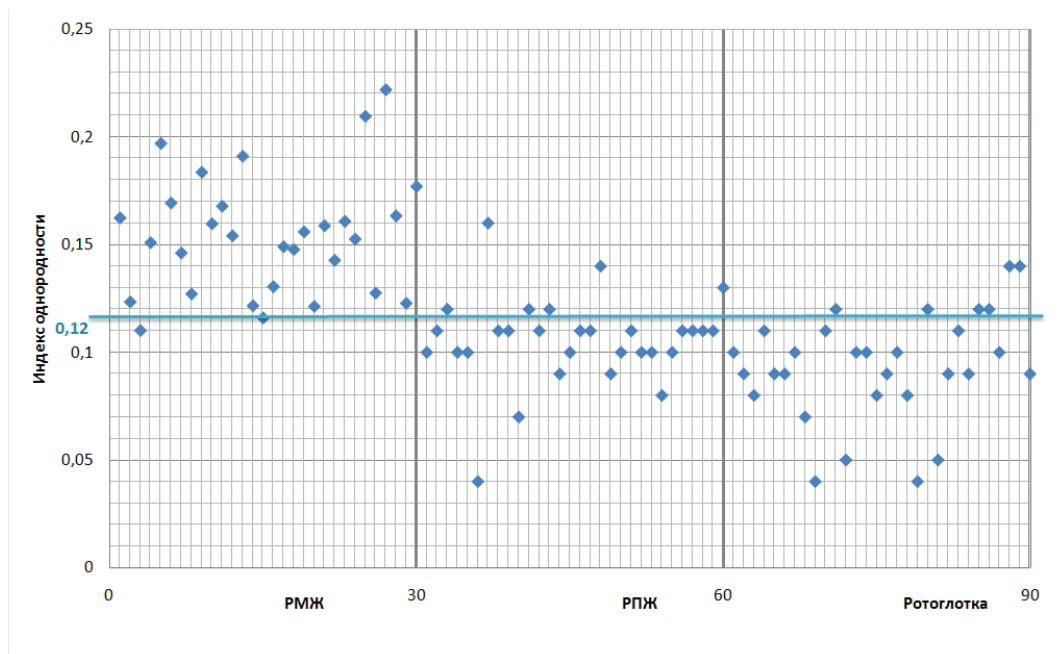


Рис. 1. Сводный график (без разделения по технологиям) значений индексов гомогенности (однородности) HI для трех нозологий РМЖ (первая группа 30 пациентов), РПЖ (первая группа 30 пациентов) и опухолей в области головы и шеи (ОФР)

Fig. 1. Summary graphic representation (unstratified by treatment technique) of dose homogeneity index (HI) values for three nosologies: breast cancer (BC, first group of 30 patients), prostate cancer (PC, first group of 30 patients), and head and neck cancer (HNC)

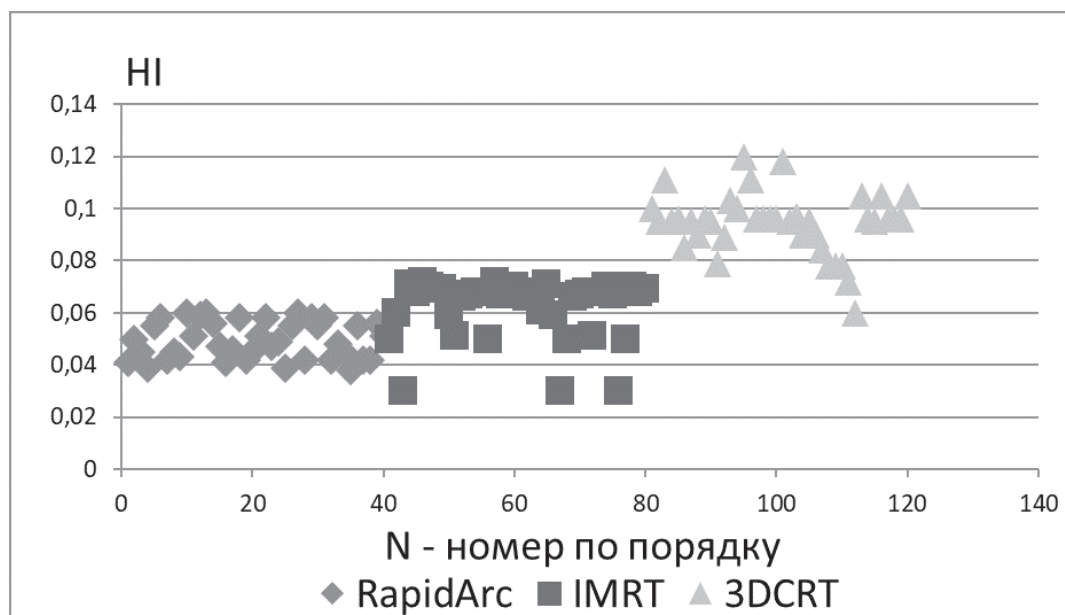


Рис. 2. Значения индексов гомогенности дозы в мишени для трех методик облучения РПЖ: (вторая группа 40 пациентов) 3DCRT, IMRT, RapidArc
Fig. 2. Target volume dose homogeneity index values for three radiotherapy techniques in prostate cancer: (second cohort, consisting of 40 patients) 3D-CRT, IMRT, RapidArc

Анализ для второй группы из 40 пациентов РПЖ (рис. 2) по технологиям показал [6, 7], что для всех трех методик облучения РПЖ значение индекса гомогенности меньше толерантного значения $HI \leq 0,12$ и находится в допустимых пределах. Значения индексов гомогенности при РПЖ составили для методик 3DKЛТ, IMRT и RapidArc, соответственно, $HI = 0,101 \pm 0,021$; $0,061 \pm 0,010$ и $0,025 \pm 0,011$. При этом методика RapidArc является лучшей, поскольку дает наименьшие показатели HI (рис. 2).

Рак шейки матки

На рис. 3 представлены значения индексов гомогенности в пределах мишени для пациентов РШМ в зависимости от технологии реализации [6].

При анализе индексов HI для РШМ показано, что средние значения индексов $HI = 0,150 \pm 0,051$ для методик IMRT и RapidArc выходят за толерантные значения в отличие от методики 3DKЛТ с $HI \leq 0,1$, подтвердив тем самым ее приоритет для применения.

Рак тела матки

В табл. 1 представлены средние значения индексов гомогенности для группы пациентов с раком тела матки (РТМ). Дозы на мочевой пузырь и прямую кишку определялись по дифференциальным (модальным дозам) характеристикам доза–объем. Очевидно, что технологии 3D КЛТ и IMRT и по индексу HI и по дозовым нагрузкам являются приоритетными при РТМ.

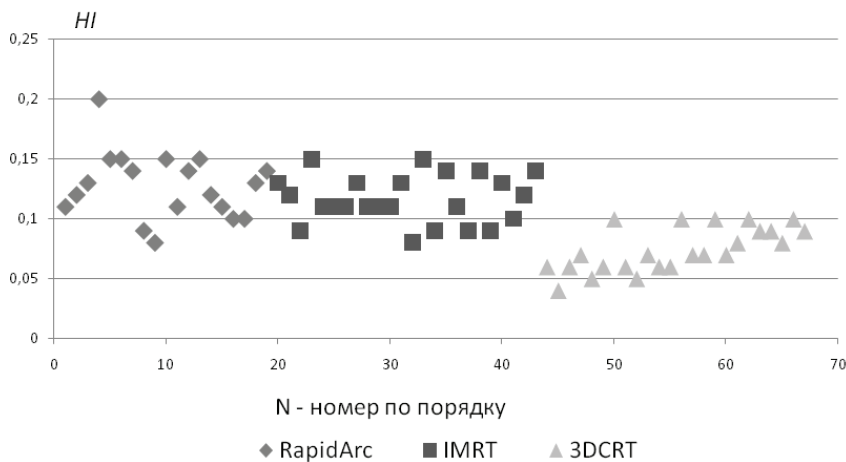


Рис. 3. Значения индексов гомогенности дозы в мишени для РШМ в зависимости от технологии реализации
Fig. 3. Target volume dose homogeneity index values for cervical cancer based on treatment delivery technique

Таблица 1

Средние значения индексов гомогенности HI и дозы на мочевой пузырь и прямую кишку для группы пациентов РТМ

Table 1

Average dose homogeneity index (HI) values and average radiation doses to the bladder and rectum in the patient cohort undergoing radiotherapy

Технологии, индекс	HI PTV	Модальная доза D _{diff} , Гр Мочевой пузырь	Модальная доза D _{diff} , Гр Прямая кишка
3DKЛТ	0,09±0,05	51,0±1,0	48,0±8,0
IMRT	0,11±0,02	46,0±11,0	45,0±11,0
RapidArc	0,12±0,02	45,0±9,0	41,0±10

Рак легкого

На рис. 4 представлены значения индексов гомогенности дозы в пределах мишени в зависимости от технологии облучения при центральном раке легкого [6]. Из графика очевидно, что в большинстве случаев больных РЛ при стандартном фракционировании для технологии Rapid Arc индекс HI составляет $0,065 \pm 0,025$, что делает эту технологию приоритетной.

Рак молочной железы

На рис. 5 представлены значения индексов HI для PTV рака левой МЖ для методик облучения IMRT, RapidArc. Аналогичные данные получены для правой МЖ. В связи с тем что значения индекса гомогенности для технологий IMRT и RapidArc (рис. 5) сопоставимы, проведен анализ индексов HI для 30 пациенток

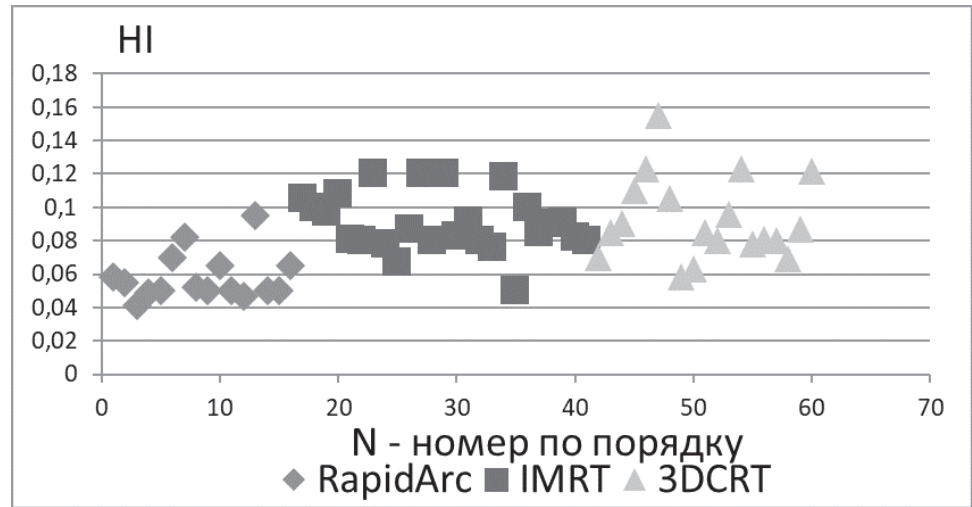


Рис. 4. Значения индексов гомогенности дозы в мишени при раке легкого РЛ в зависимости от технологии реализации

Fig. 4. Target volume dose homogeneity index values for lung cancer based on treatment delivery technique

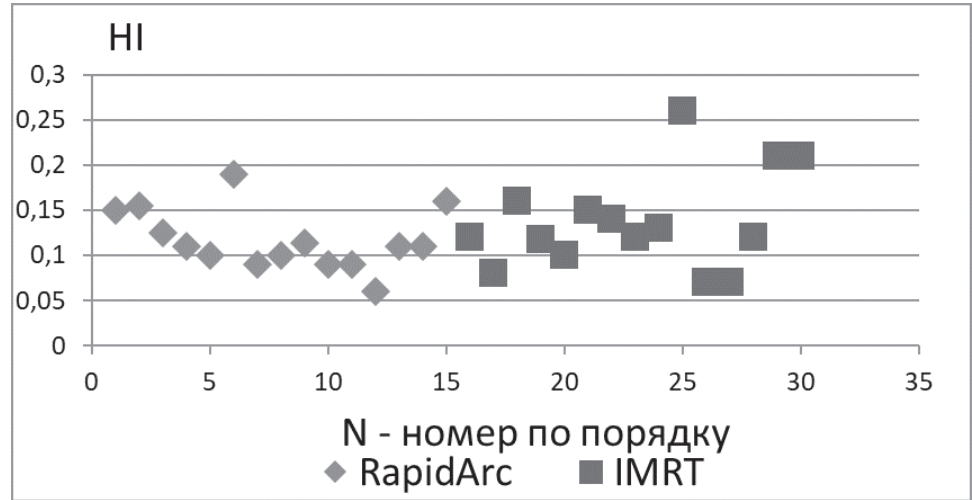


Рис. 5. Значения индексов гомогенности дозы в мишени при раке левой МЖ для методик облучения IMRT, RapidArc

Fig. 5. Target volume dose homogeneity index values for left breast cancer using IMRT and RapidArc techniques

РМЖ при технологии 3ДКЛТ (на графике рис. 5 отсутствуют). Индекс HI для технологии 3ДКЛТ также оказался в пределах $0,12 \leq HI \leq 0,23$, что соизмеримо с технологиями IMRT и RapidArc и преимуществ 3DCRT с этой точки зрения также не выявлено.

Поэтому для методики 3ДКЛТ рассчитаны дозовые нагрузки на критические органы, по которым и осуществлялось сравнение (табл. 2, 3). Аналогичные данные приведены для левой МЖ.

Таблица 2

Средние значения индекса HI в планируемом объеме (PTV) по технологиям облучения и дозовые нагрузки D_{dif} в критических органах больных раком правой молочной железы

Table 2

Average dose homogeneity index (HI) within the planning target volume (PTV) stratified by irradiation technique, and associated dose burden (D_{dif}) to organs at risk in patients diagnosed with right breast cancer

Методики облучения	HI, PTV	D_{dif} , Гр сердце	D_{dif} , Гр Левое легкое	D_{dif} , Гр Правое легкое	D_{dif} , Гр Противоположная МЖ
RapidArc	0,12±0,03	1,50±0,40	1,10±0,40	3,10±1,30	1,40±0,60
IMRT	0,14±0,05	1,20±0,50	1,10±1,20	2,80±1,10	0,60±0,30
3ДКЛТ	0,12≤HI≤0,23	0,09±0,04	0,015±0,070	0,79±0,31	0,015±0,06

Таблица 3

Средние значения индекса HI в планируемом объеме (PTV) по технологиям облучения и дозовые нагрузки D_{dif} в критических органах больных раком левой молочной железы

Table 3

The average homogeneity index (HI) within the planning target volume (PTV), categorized by irradiation technique, and the corresponding dose burden (D_{dif}) to organs at risk were determined for patients diagnosed with left breast cancer

Методики облучения	HI, PTV	D_{dif} , Гр сердце	D_{dif} , Гр Левое легкое	D_{dif} , Гр Правое легкое	D_{dif} , Гр Противоположная МЖ
RapidArc	0,15±0,05	2,50±0,50	2,5±0,70	2,10±1,10	2,1±0,20
IMRT	0,14±0,05	1,90±0,50	2,40±0,70	1,30±1,10	0,90±0,60
3ДКЛТ	0,12≤HI≤0,23	0,34±0,14	0,88±0,38	0,019±0,04	0,016±0,001

При технологии 3ДКЛТ доза на критические органы существенно меньше, чем при технологиях Rapid Arc и IMRT. В связи с этим рекомендуется облучать больных раком левой и правой МЖ на ускорителях электронов с внешней гантри по технологии 3Д КЛТ.

Облучение центральной нервной системы (краниоспинальное облучение КСО)

В работе рассмотрены методики реализации планов КСО для 10 пациентов по технологиям IMRT и VMAT с наложением полей 5 см, 7,5 см и 10 см [8]. Сводные данные по средним значениям индекса гомогенности по технологиям и ускорителям с внешней гантри (TrueBeam) и встроенной гантри (Halcyon) приведены в табл. 4. Среднее значение индекса гомогенности для технологии IMRT ускорителей TrueBeam составляет $0,077 \leq HI \leq 0,14$ и является предпочтительной.

Таблица 4

Сводные данные по индексам гомогенности по технологиям и ускорителям

Table 4

Summary data for dose homogeneity indices by treatment technique and linear accelerator

Техника облучения	IMRT		VMAT 5 см		VMAT7, 5 см		VMAT10 см	
Ускоритель, индекс HI	TrueBeam (TB)	Halcyon (H)	TB	H	TB	H	TB	H
HI PTV	0,080	0,110	0,128	0,133	0,098	0,148	0,105	0,142

Рак средней трети пищевода

Значения индексов гомогенности в мишени HI для планов облучения средней трети пищевода по различным ускорителям и алгоритмам приведены в табл. 5. Очевидно, что все значения индексов HI, независимо от радиотерапевтической установки и версии алгоритма расчета (AAA Eclipse 8 и 16) находятся за пределами интервала $HI \leq 0,12$ и превышают толерантные значения.

Таблица 5

Значения индексов гомогенности в мишени HI для планов облучения средней трети пищевода по различным ускорителям и алгоритмам

Table 5

Target volume dose homogeneity index (HI) values for mid-esophageal irradiation plans across different linear accelerators and algorithms

Алгоритм/ускоритель/версия	Значения HI
AAA, Clinac iX, Eclipse 8	0,12±0,04
AAA, Clinac iX, Eclipse 16	0,13±0,03
AAA, Clinac iX, Eclipse 16	0,14±0,03
AAA, Halcyon, Eclipse 16	0,11±0,04

Сводные данные по индексам гомогенности HI, удовлетворяющим критериям толерантности, в мишени по всем нозологиям приведены в табл. 6.

Таблица 6

Общие сведения по индексам гомогенности HI в мишени по нозологиям, удовлетворяющим критериям толерантности

Table 6

General overview of target volume dose homogeneity indices (HI) by nosology, meeting tolerance criteria

Технологии локализации индекс HI	РМЖ	РШМ	РТМ	РПЖ	ОФР	Пищевод	РЛ	ЦНС
3D КЛТ	$0,12 \leq HI \leq 0,23$	$HI \leq 0,12$	$HI \leq 0,12$	—	—	$0,12 \leq HI \leq 0,14$	—	—

IMRT	–	$HI \leq 0,12$	$HI \leq 0,12$	$HI \leq 0,12$	$HI \leq 0,12$	$0,12 \leq HI \leq 0,14$	$HI \leq 0,12$	$0,077 \leq HI \leq 0,14$
RapidArc	–	–	–	$HI \leq 0,12$	$HI \leq 0,12$	–	$HI \leq 0,12$	–

Заключение

Получены зависимости индексов гомогенности HI дозы в пределах мишени от технологии облучения больных для нескольких нозологий: раком предстательной железы, шейки матки, тела матки, раком молочной железы, с опухолями орофарингеальной зоны, раком легкого и пищевода, с опухолями ЦНС. Показано, что при облучении рака шейки матки желательно применять технологии 3DKЛТ и лучевую терапию с модуляцией по интенсивности IMRT, при раке легкого и предстательной железы технологии лучевой терапии с модуляцией по интенсивности в ротационном режиме RapidArc. Рак молочной железы желательно облучать по технологии 3DKЛТ. При краниоспинальном облучении для технологии IMRT ускорителей TrueBeam индекс гомогенности HI составляет $0,077 \leq HI \leq 0,14$ и, очевидно, что эта технология является предпочтительной.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- 1. Для 80% рассмотренных нозологий индекс гомогенности укладывается в толерантные значения (табл. 6); для 20% нозологий индекс гомогенности не укладывается в толерантные значения $HI \leq 0,12$.
- 2. Технология IMRT чаще всего обеспечивает индекс гомогенности $HI \leq 0,12$.
- 3. Очевидно, что протяженность и объемы облучаемых мишеней влияют на индекс гомогенности. Чем больше протяженность патологического объема, тем меньше вероятность попадания HI в толерантный диапазон.
- 4. Возможна оптимизация планов облучения путем подбора технологии облучения для достижения HI в пределах толерантных значений.
- 5. Учитывая прогностический потенциал HI для безрецидивной выживаемости, необходимо для каждого плана оценивать индекс гомогенности и, если необходимо, пересчитать план.

Будем считать состоятельными рассматриваемые технологии конформной лучевой терапии 3D КЛТ, IMRT, RapidArc современных ускорителей с МЛК, которые в большинстве случаев позволяют достичь нужной гомогенности дозы в мишени и существенно снизить вероятность возникновения рецидивов у онкологических больных.

Л и т е р а т у р а

1. Беликова А.А., Герасимов В.А., Иванов С.А. и др. Факторы риска локального и дис-
татного прогрессирования у больных немелкоклеточным раком легкого и молочной железы
после облучения всего объема головного мозга. *Медицинская физика*. 2021;90(2):29-38.

2. Лебеденко И.М., Быкова Ю.Б., Болдырева В.А. и др. Оценка распределения дозы в
планируемом объеме мишени с применением индекса гомогенности. *Медицинская физика*.
2017;73(1):34-38.

3. Лебеденко И.М., Кравец О.А., Быкова Ю.Б. и др. Количественная оценка качества
планирования дистанционной составляющей лучевой терапии больных раком шейки матки.
Вопросы онкологии. 2016;(6):827-830.

4. Lebedenko IM, Romanova EA, Belova AA. et al. Quantitative assessment of the quality
of treatment planning for patients with advanced cervical cancer. *Biomedical Engineering*.
2018;52(4):263-266.

5. International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, Recording and
Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT). ICRU Report 83. 2010

6. Лебеденко И.М., Кудашкина Ю.А., Громушкина Е.В. и др. Количественная оценка
качества планирования дистанционного облучения онкологичес-ких больных. *Медицинская
техника*. 2022;(2):31-34.

7.Лазарева Ю.А., Лебеденко И.М. Количественная оценка качества планирования дистанционного облучения больных раком предстательной железы. *Медицинская физика*. 2022;94(2):12-19. DOI: 10.52775/1810-200X-2022-94-2-12-19.

8. Гумбатова А.Э., Овсянников А.В., Лебеденко И.М. и др. Оценка качества и сравнение дозиметрических характеристик планов краниоспинального облучения по методике VMAT на ускорителя Varian TrueBeam и Varian Halcyon. *Медицинская физика*. 2022;96(4):30-36. DOI:10.52775/1810-200X-2022-96-4-30-36.

References

1. Belikova AA, Gerasimov VA, Ivanov SA, et al. Risk factors for local and distant progression in patients with non-small cell lung and breast cancer after whole-brain irradiation. *Medical Physics*. 2021;90(2):29-38 (in Russian).

2. Lebedenko IM, Bykova YuB, Boldyreva VA, et al. Estimation of dose distribution in the planned target volume using the homogeneity index. *Medical Physics*. 2017;73(1):34-38 (in Russian).

3. Lebedenko IM, Kravets OA, Bykova YuB, et al. Quantitative assessment of the quality of planning the remote radiotherapy in cervical cancer patients. *Issues of Oncology*. 2016;(6):827-830 (in Russian).

4. Lebedenko IM, Romanova EA, Belova AA, et al. Quantitative assessment of the quality of treatment planning for patients with advanced cervical cancer. *Biomedical Engineering*. 2018;52(4):263-266 (in English).

5. International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, Recording and Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT). ICRU Report 83. 2010 (in English).

6. Lebedenko IM, Kudashkina YuA, Gromushkina EV, et al. Quantitative assessment of the quality of planning remote irradiation of cancer patients. *Medical Technology*. 2022;(2):31-34 (in Russian).

7. Lazareva YuA, Lebedenko IM. Quantitative assessment of the quality of external radiotherapy planning for patients with prostate cancer. *Medical Physics*. 2022;94(2):12-19. DOI: 10.52775/1810-200X-2022-94-2-12-19 (in Russian).

8. Gumbatova AE, Ovsyannikov AV, Lebedenko IM, et al. Evaluation of the quality and comparison of dosimetric parameters of plans for craniospinal irradiation using VMAT method at Varian TrueBeam and Varian Halcyon accelerators. *Medical Physics*. 2022;96(4):30-36. DOI: 10.52775/1810-200X-2022-96-4-30-36 (in Russian).

Сведения об авторе

ЛЕБЕДЕНКО Ирина Матвеевна – д. б. н., проф. каф. № 35 «Медицинская физика» НИЯУ МИФИ, с. н. с. службы медико-физического сопровождения отделения радиотерапии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» МЗ РФ, г. Москва, Российская Федерация, SPIN-код 4088-5974, Author ID: 365 939, ORCID: 0000-0003-0634-7841, e-mail: imlebedenko@mail.ru

About the author

Irina M. LEBEDENKO – Dr. Sci. (Biology), Professor, Department No. 35 of Medical Physics, NNRU MEPhI, Senior Researcher, Medical and Physical Support Service of the Radiotherapy Department of the N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russian Federation, SPIN-code 4088-5974, Author ID: 365 939, ORCID: 0000-0003-0634-7841, e-mail: imlebedenko@mail.ru

Конфликт интересов

Автор является членом редколлегии журнала «Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова»

Conflict of interests

The author is a member of the editorial board of Vestnik of North-Eastern Federal University

Поступила в редакцию / Submitted 16.05.25

Принята к публикации / Accepted 03.06.25