

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ В ПЛАНИРУЕМОМ ОБЪЕМЕ МИШЕНИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДЕКСА ГОМОГЕННОСТИ

И.М. Лебедеенко^{1,2}, Ю.Б. Быкова¹, В.А. Болдырева¹, А.В. Михайлова¹

¹ Российский онкологический научный центр им. Н.Н.Блохина МЗ РФ, Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

Проанализированы индексы гомогенности распределенной дозы в планируемом объеме мишени для 90 пациентов раком молочной и предстательной желез и орофарингеальной зоны. Для 92 % пациентов раком простаты и орофарингеальной зоны индекс гомогенности дозы находился в пределах $\leq 0,12$. Для больных раком молочной железы индекс гомогенности выходил за эти пределы, что обусловлено технологией лечения 3D конформной лучевой терапии и локализацией мишени.

Ключевые слова: лучевая терапия, распределение дозы, объем мишени, индекс гомогенности

Введение

Система документов и протоколов дозиметрического обеспечения дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) десятки лет создавалась с одной лишь целью – обеспечить такое подведение дозы к мишени, чтобы опухоль была излечена, а частота и степень выраженности осложнений была минимальна. Созданные с этой целью международными организациями стандарты и протоколы регулируют правильность выполнения процедур ДЛТ.

В настоящее время в РОНЦ им. Н.Н. Блохина внедрены методики планирования на системе планирования ECLIPSE и осуществления облучения на аппаратах серии CLINAC (VARIAN) 3D конформной лучевой терапии (3D КЛТ, англ. 3D CRT), ЛТ с модуляцией интенсивности (ЛТМИ, англ. IMRT), и ротационной терапии с модуляцией интенсивности (технология «быстрая дуга», англ. – Rapid Arc). Комплекс дозиметрических проверок до этапа планирования, от исполнения которых в значительной степени зависит качество пла-

нирования и результаты лечения, включал все необходимые протоколы проверок качества.

Целью исследования явилась оценка качества планирования по индексу гомогенности ИГ (англ. HI – Homogeneity Index) в объеме PTV при планировании ДЛТ для нескольких локализаций опухолей.

Требования к гомогенности распределения дозы в мишени

Согласно рекомендациям МКРЕ 50/62 [1] доза внутри PTV при планировании ЛТ должна находиться в диапазоне от 95 % до 107 % от предписанной дозы. В сумме это составляет 12 %, в относительном выражении – 0,12. Это количественный показатель, который не должен превышать значение неравномерности дозы в мишени. Рекомендации основаны на анализе результатов лечения и их зависимости от подведенной дозы, анализе ошибок при проведении ЛТ и радиобиологических предпосылках.

Позже в качестве руководства для планирования методов облучения с модуляцией ин-

МКРЕ 83 – Спецификация дозы

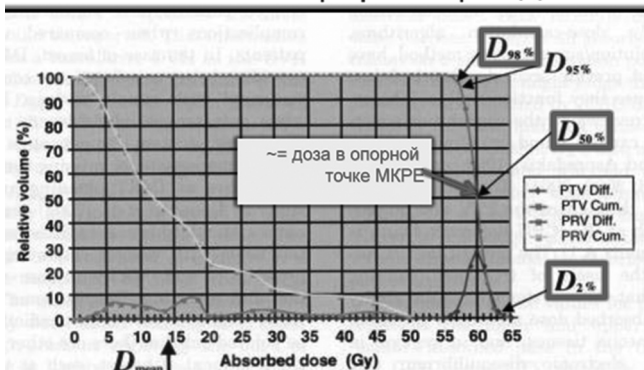


Рис. 1. Определение доз по гистограмме доза-объем (ГДО) по рекомендации МКРЕ-83 [2]

тенсивности был предложен протокол МКРЕ-83 [2], где были изменены некоторые рекомендации, касающиеся терминов и правил для сообщений о распределении дозы в планах облучения. Одно из отличий документа МКРЕ-83 от МКРЕ-50 заключается в переходе от предписанной дозы в точке к дозе в объеме.

В докладе МКРЕ-83 протоколирование заданной дозы адаптировано к методикам ЛТМИ. Однако вместо значений дозы $D_{\min}$ или $D_{\max}$, применявшихся в рекомендациях МКРЕ-50/62, применяются значения $D_{98\%}$ и $D_{2\%}$ и указывается значение дозы $D_{50\%}$, которое близко к дозе в опорной точке по протоколу МКРЕ-50.

Для PTV дается определение следующих понятий: $D_{50\%}$ – значение дозы, покрывающей 50 % объема мишени, $D_{98\%}$ – минимальная доза, охватывающая 98 % объема мишени. $D_{2\%}$ – доза около максимума, которая охватывает 2 % объема мишени (рис. 1). В отчетах о клинических испытаниях следует приводить средние значения этих величин для всех пациентов вместе с доверительными интервалами определенных значений. Кроме того, определена такая характеристика равномерности дозного поля в мишени, как индекс гомогенности ИГ.

В документе МКРЕ-83 говорится, что ранее было предложено как несколько определенных индексов для оценки степени равномерности облученного объема, так и различные индексы с использованием одного параметра [3, 4], а также коэффициент подобия similarity coefficient [5].

Однако из-за возрастающей доступности форматов ГДО для представления информации

о дозах применимость вышеупомянутых индексов для ЛТМИ должна быть ограничена. Некоторые авторы предпочитают применять разные определения в зависимости от вида ЛТ. Например, в радиохирургии, где однородность дозы характерно низкая, а предписанная доза может составлять 50 % от максимальной, использовали отношение максимальной дозы к предписанной [6, 7]. Такое определение отражает только величину превышения дозы, но не показывает недооблучения в объеме мишени. При этом ИГ=1, если максимальная доза будет равна предписанной, но часть мишени будет не облучена. Поэтому такое определение рекомендовать нельзя. Другой пример, в работе [8] индекс $HI_{95\%/107\%}$ определен как доля объема СТВ с дозой выше 95 % и ниже 107 % от предписанной дозы. Такое определение не показывает величины ни превышения, ни занижения дозы. Для 3D-КЛТ и ЛТМИ иногда используют другое определение – разность максимальной и минимальной дозы, нормированную к предписанной дозе в точке МКРЕ [9].

Поскольку использование понятий минимума, максимума и дозы в опорной точке МКРЕ больше не рекомендуется, в МКРЕ-83 предложено следующее определение индекса гомогенности ИГ:

$$ИГ = (D_{2\%} - D_{98\%}) / D_{50\%}. \quad (1)$$

В идеальном случае при ИГ=0 распределение дозы полностью однородное. Для нормировки предложена величина $D_{50\%}$, поскольку значение $D_{50\%}$ строго рекомендуется отмечать при сообщениях уровня 2. Допустимым значением считается $ИГ \leq 0,12$. Например, на рис. 1 величины $D_{2\%}=63$ Гр, $D_{50\%}=60$ Гр, $D_{98\%}=57$ Гр, следовательно $ИГ=0,1$.

Результаты исследований

Проведена оценка величин ИГ распределений дозы в пределах PTV для трех локализаций опухоли: рака предстательной железы (РПЖ) (30 пациентов); рака молочной железы (РМЖ) (30 пациентов) и орофарингеального рака (ОФР) (30 пациентов). Расчет доз осуществляли с помощью системы планирования ECLIPSE с применением алгоритма AAA (Anisotropic Analytical Algorithm). Входными данными для анализа и оценки ИГ были суммарная и разовая доза. Учитывали объем PTV, в пределах которого проводился анализ, и методику облу-

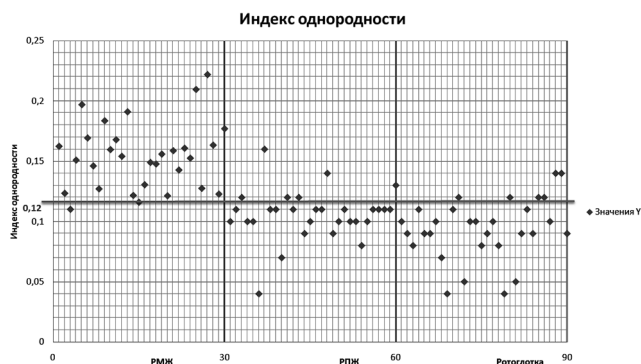


Рис. 2. Величины индексов гомогенности для рака молочной железы, рака предстательной железы и оророфарингеального рака

чения. Для лечения применены следующие методики облучения: 3D КЛТ, IMRT, RapidArc, IM-RT+ RapidArc, 3D CRT+IMRT+ RapidArc, 3D CRT+ RapidArc (несколько методик использовали в случае двух или более этапов лечения). Оценены параметры $D_{98\%}$, $D_{2\%}$, $D_{50\%}$ для каждой локализации. Расчет индекса ИГ проведен по формуле (1). Значения индексов гомогенности приведены на рис. 2.

Необходимо отметить, что полученный результат был ожидаемым, но все же неожиданным. Показано, что для всех локализаций величина ИГ в значительной степени зависит от методики облучения и величины методики анализируемого объема, в пределах которого он определяется. Из рис. 2 видно, что величина ИГ почти для всех 60 больных ОФР и РПЖ, за исключением 5 человек (8 %), лежит ниже значения 0,12. Для этих локализаций применяли преимущественно методики IMRT, RapidArc и их возможные сочетания. Объемы при расчете индексов для ОФР и РПЖ были в 2–3 раза меньше объемов, облучаемых при РМЖ, а основной методикой облучения РМЖ была 3D КЛТ. Но если сопоставить индексы для идентичных объемов РМЖ, РПЖ и ОФР, то совершенно очевидно достижение большей равномерности при использовании методик RapidArc и IMRT.

Конечно, интересно знать соответствие между величиной ИГ с соответствующими дозиметрическими предпосылками и конечным результатом лечения, но это перспектива для работы в будущем.

Выводы

Результаты анализа величин индекса гомогенности дозы в мишени для 90 пациентов РМЖ, РПЖ и ОФР на этапе планирования облучения показали, что:

1. Индекс гомогенности дозы в мишени $+7\% - 5\%$ (в сумме 0,12) является трудно достижимой, но достигаемой величиной.
2. Индекс гомогенности дозы в мишени зависит от применяемой методики облучения. Для 92 % больных РПЖ и ОФР величина ИГ находится в интервале до 0,12 при использовании методик IMRT и RapidArc.
3. Величина ИГ существенно зависит от величины анализируемого объема. Чем больше объем мишени и сложность ее контура, тем больше вероятность его выхода за пределы 0,12. При сопоставлении индексов одинаковых объемов, выявлены выраженные преимущества методик IMRT и RapidArc.

Список литературы

1. ICRU Report № 50 и 62. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. ICRU. 1993 и 1999.
2. ICRU Report 83. Prescribing, Recording, and Reporting Intensity-Modulated Photon-Beam Therapy (IMRT). ICRU, 2010.
3. Knoos T., Kristensen I., Nilsson P. Volumetric and dosimetric evaluation of radiation treatment plans: radiation conformity index // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1998. Vol. 42, P. 1169–1176.
4. Liu H.H., McCullough E.C., Mackie T.R. Calculating dose distributions and wedge factors for photon treatment fields with dynamic wedges based on a convolution/superposition method // Med. Phys. 1998. Vol. 25, P. 56–63.
5. Murphy M.J., Chang S., Gibbs I. et al. Image-guided radiosurgery in the treatment of spinal metastases // Neurosurg. Focus. 2001. Vol. 11. P. 1–7.
6. Paddick I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans // J. Neurosurg. 2000. Vol. 93. P. 219–222.
7. Khoo V.S., Oldham M., Adams E.J. et al. Comparison of intensity-modulated tomotherapy with stereotactically guided conformal radiotherapy for brain tumors // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1999. Vol. 45. P. 415–425.

8. Thilmann C., Zabel A., Milker-Zabel S. et al. Number and orientation of beams in inversely planned intensity-modulated radiotherapy of the female breast and the parasternal lymph nodes // *Am. J. Clin. Oncol.* 2003. Vol. 26. P. e136–e143.
9. Van Esch A., Vanstraelen B., Verstraete J. et al. Pre-treatment dosimetric verification by means of a liquid-filled electronic portal imaging device during dynamic delivery of intensity modulated treatment fields // *Radiother. Oncol.* 2001. Vol. 60. P. 181–190.

APPLICATION OF HOMOGENEITY INDEX FOR EVALUATION OF DOSE DISTRIBUTION IN PTV

I.M. Lebedenko^{1,2}, Yu.B. Bykova¹, V.A. Boldyreva¹, A.V. Mikhaylova¹

¹ *N.N. Blochin Russian Cancer Research Center, Moscow, Russia*

² *National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia*

The index HI for 90 patients with a breast cancer, a prostate cancer and head and neck cancer was estimated. The HI in the target for 92 % of the patients with prostate and head and neck cancer was lower than tolerant value 0.12. For breast cancer patients the HI for most of patients was beyond this value. The reason of this is the site and the 3D CRT technique which was used for the breast site.

Key words: *radiotherapy, dose distribution, target volume, homogeneity index*

E-mail: imlebedenko@mai.ru