

Инструментальный метод оценки качества дозиметрических планов дистанционного облучения онкологических больных

И. М. ЛЕБЕДЕНКО^{1,2}, С. С. ДЕНИСЮК¹, Ю. Б. БЫКОВА¹

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

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия,
e-mail: imlebedenko@mail.ru

Приведены результаты количественной оценки планов дистанционного облучения больных раком ротоглотки с помощью методики (инструмента) «гистограмма доза-объем». Рассчитаны индекс гомогенности HI дозы в планируемом объеме мишени, индекс конформности CI и другие индексы для 37 пациентов. Сопоставлены результаты расчетов для различных методик облучения. Показано, что индекс гомогенности HI для 80 % пациентов и всех технологий облучения находится в пределах 0,05–0,12. Индекс конформности CI для пациентов не зависит от технологии облучения.

Ключевые слова: лучевая терапия, инструментальная оценка, качество планов облучения, индекс гомогенности, индекс конформности.

The results of quantitative assessing the plans for remote irradiation of oropharyngeal cancer patients using "dose-volume" histograms are presented. The homogeneity index of planning target volume HI, conformity index CI and others for 37 patients were calculated. Comparing the results of calculations for different methods of irradiation. It is shown, that HI is in the range from 0,05 to 0,12 for 80 % of all patients and for all exposure technologies. CI conformity index for patients is regardless of the exposure technology.

Key words: radiotherapy, instrumental technique for assessment, the quality of irradiation plans, homogeneity index, conformity index.

Трёхмерная конформная лучевая терапия начинается с предлучевой подготовки и получения на рентгеновском компьютерном томографе навигационных изображений, отражающих взаимное расположение опухоли и здоровых органов пациента. Эти данные могут быть дополнены сведениями магниторезонансной томографии и протонно-эмиссионной томографии. Полученные изображения с оконтуренными врачом границами опухоли и критических органов по сети передаются в систему планирования. Это позволяет в значительной мере снизить вероятность возникновения ошибок из-за влияния человеческого фактора. В системе планирования с помощью современного сложного математического аппарата создаётся план облучения. План подписывается врачом и физиком, многократно выверяется и передаётся по сети для реализации лечения на ускорителе электронов.

Одним из самых ответственных моментов этапа планирования является контроль качества созданных дозиметрических планов облучения. Контроль осуществляется с помощью методики (или инструмента) «гистограмма доза-объем» (DVH). Оцениваются значения индекса гомогенности HI, который отражает равномерность распределения дозы в пределах опухоли, индекса конформности CI охвата опухоли определённым значением дозы и другие индексы.

Основные характеристики системы дозиметрического планирования Eclipse. Математический аппарат системы трёхмерного дозиметрического планирования Eclipse (Varian) предназначен для планирования всех видов терапии, включая трёхмерную конформную лучевую терапию и модулированную по интенсивности лучевую те-

рапию (IMRT) в различных вариантах, включая методику лучевой терапии с визуальным контролем по дыханию.

Система планирования Eclipse позволяет регистрировать трёхмерные изображения и очерчивать структуры с использованием изображений (компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, позитронно-эмиссионная томография, однофотонная эмиссионная компьютерная томография). С помощью системы планирования можно программно автоматически сегментировать структуры по их плотностям и устанавливать пучки в плане облучения, анализировать планы (включая визуализацию распределения дозы и гистограмм доза-объем) и рассчитывать трёхмерные распределения дозы фотонных пучков в тканях пациента, с учётом отдельного вклада первичного и рассеянного излучений в дозу в теле пациента, а также рассчитывать трёхмерные распределения дозы от пучков электронов в тканях пациента с использованием алгоритма Монте-Карло. Кроме этого, система планирования позволяет проводить итеративную инверсную оптимизацию планов облучения пациента для проведения лучевой терапии с модулированной интенсивностью пучков фотонного излучения, включая оптимизацию направлений и количества пучков.

Облучение больных осуществлялось на высокоэнергетических линейных ускорителях электронов моделей Clinac iX (Varian), Clinac 2300 CD (Varian) и Clinac 6EX с интегрированным многолепестковым коллиматором модели MLC 120, вмонтированной рентгеновской системой визуализации, системой портальной визуализации EPID, системой синхронизации по дыханию. Номинальная энергия фотонов 6 и 18 МэВ. В клинике внедрены следующие

технологии конформного облучения, соответствующие мировым стандартам: трёхмерная конформная лучевая терапия; радиотерапия с модуляцией по интенсивности; модулированная по объёму арк-терапия (RapidArc, RA); методика стереотаксического облучения; методика лучевой терапии с контролем по дыханию.

Дозовая гомогенность и дозовая конформность.

Дозовая гомогенность и дозовая конформность – независимые характеристики качества дозового распределения. Их оценка осуществляется с помощью инструмента «гистограмма доза-объём». Дозовая гомогенность характеризует однородность распределения дозы в пределах объёма мишени V_n . Идеально гомогенная доза в объёме V_n характеризуется пиком на дифференциальной характеристике гистограммы доза-объём или вертикальным спадом на графике кумулятивной DVH (рис. 1).

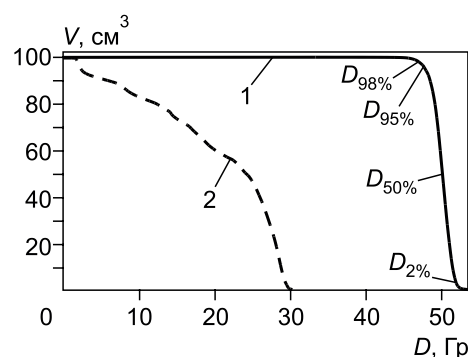


Рис. 1. Интегральные гистограммы доза-объём (D-V) для мишени PTV (1) и критического органа (спинного мозга) (2)

В соответствии с последними международными рекомендациями [1–3] для трёхмерной конформной лучевой терапии, методик IMRT и RA предложено следующее определение индекса гомогенности HI : $HI = (D_2 - D_{98}) / D_{50}$, где D_2 – доза около максимума, охватывающая 2 % мишени (или критического органа), D_{98} – минимальное значение дозы, охватывающей 98 % объёма мишени (или критического органа, если гистограмма доза-объём построена для него), доза D_{50} предложена как нормирующее значение. При $HI=0$ дозовое распределение полностью однородное.

Дозовая конформность характеризует степень, с которой область высокой дозы совпадает с объёмом мишени V_n . Конформность является мерой покрытия изодозой поверхности мишени объёмом V_n . В данной работе используется следующее определение индекса конформности CI [3]: $CI = V_{95} / V_n$, где V_{95} – объём опухоли, охваченный 95 % изодозой D_{95} .

Требования к гомогенности и конформности распределения дозы в мишени. Согласно МКРЕ 50/62 доза внутри планируемого объёма PTV должна находиться в диапазоне 95–107 % предписанной [1]. В сумме это отклонение составляет 12 %, в относительном выражении $HI=0,12$ и является трудно достижимым [3]. Индекс $CI=1$ соответствует идеальному случаю.

Общая характеристика группы больных раком ротоглотки и результаты исследований. Рассчитаны планы облучения 37 больных раком ротоглотки в соответствии с методиками облучения: IMRT, RA. Лучевая терапия осуществляется в три этапа. Расчёт планов облучения осуществ-

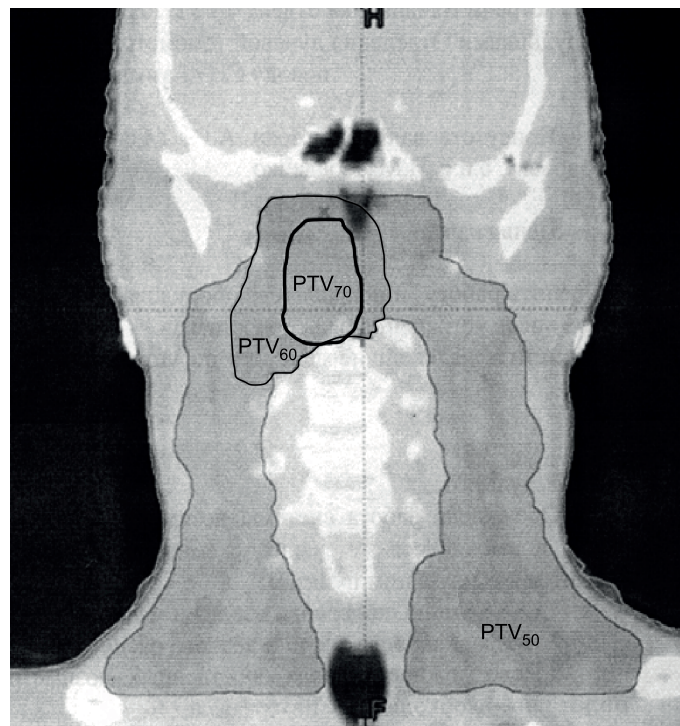


Рис. 2. Продольное изображение пациента и объёмы облучения больного на различных этапах лечения

лялся в системе планирования Eclipse с помощью алгоритма AAA (Anisotropic Analytical Algorithm).

На рис. 2 представлено продольное изображение и объёмы облучения больного на различных этапах лечения. Максимально оконтуренный объём соответствует перво-

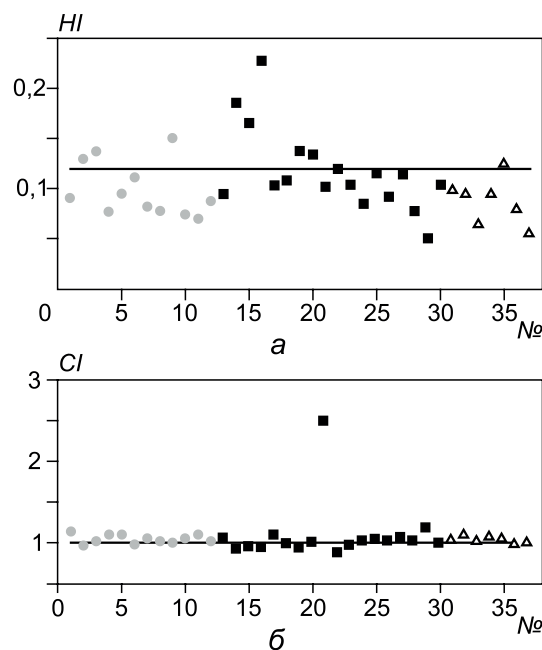


Рис. 3. Индексы гомогенности HI для объёма PTV₇₀ и CI для объёма PTV₅₀ для трёх методик облучения:

● – IMRT; ■ – RA; ▲ – RA/IMRT

му этапу и подведённой к мишени дозе 50 Гр и обозначен как PTV_{50} , меньший объём соответствует второму этапу и подведённой дозе 60 Гр (PTV_{60}), наименьший оконтуренный объём на третьем этапе получает дозу 70 Гр (PTV_{70}).

Проведена оценка индексов гомогенности HI для PTV_{70} (рис. 3, а). Индекс гомогенности HI для PTV_{70} представлен для трёх методик облучения: IMRT, RA и сочетания методик IMRT-RA. Также проведена оценка индекса конформности CI для PTV_{50} (рис. 3, б) и доз для критических органов (гортани, пищевода, левой и правой слюнных желез, спинного мозга, трахеи, нижней челюсти) по гистограммам доза-объём. Аналогично индекс конформности CI для PTV_{70} представлен для трёх методик облучения. Оценка дозы для критических органов осуществлялась с помощью инструмента D_2 . Гистограммы доза-объём для критических органов в статье не представлены.

Результаты анализа для больных раком ротоглотки показали, что доза для пищевода D_2 для методики IMRT существенно ниже, чем при методике RA и составляет 2–30 Гр, что показывает преимущество методики IMRT. Доза для спинного мозга D_2 для 95 % больных составляет 15–45 Гр, что находится в пределах толерантности. Индекс гомогенности HI зависит от анализируемого объёма PTV и должен удовлетворять условию $HI \leq 0,12$, значения HI для PTV_{70} для 80 % пациентов и всех методик облучения находятся в пределах 0,05–0,12.

Значения HI для PTV_{50} для 80 % пациентов и всех методик облучения находятся в пределах 0,12–0,24. Индекс

CI для PTV_{50} для 99 % пациентов не зависит от технологии облучения ротоглотки и находится в диапазоне 0,98–1,02.

Заключение. Значения индексов HI и CI выражено зависят от объёма PTV . В пределах допусков международных стандартов данные индексы являются вполне достижимыми в клинике с возможностью реализации технологий IMRT и RA. При раке ротоглотки существенно меньшие дозовые нагрузки на такие критические органы как гортань, пищевод, левая и правая слюнные железы, нижняя челюсть демонстрирует методика IMRT в сравнении с методикой RA. Индексы HI и CI могут быть использованы в качестве критериальной базы для выбора методики облучения больных и экономии ресурсов ускорителей.

Л и т е р а т у р а

1. **МКРЕ 50/62. Доклад № 50.** Назначение, протоколирование и отчетность по фотонной лучевой терапии. Сокращенный перевод Т. Г. Ратнер, под редакцией Г. Е. Горлачева // Медицинская физика. 1998. № 5. С. 28–32.
2. **ICRU Report № 50, 62.** Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy // ICRU. 1993, 1999.
3. **Prescribing, Recording and Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT).** Report 83 // ICRU. 2010. V. 10. No. 1. P. 1–92.

Дата принятия: 07.12.2016.