

УДК 616-006+615.849.19

МИХАИЛ ИВАНОВИЧ ХВОРОСТЕНКО¹, ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ КИХТЕНКО¹,
ЮЛИЯ МИХАЙЛОВНА ХВОРОСТЕНКО¹, СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ ВОЛОКИТИН²,
НАТАЛИЯ ВЛАДИСЛАВОВНА СКЛЯР²

¹ ГУ «Днепропетровская медицинская академия МОЗ Украины»

² КУ «Областной клинический онкологический диспансер» ДОР Днепр

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЛАНИРОВАНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С МОДУЛИРОВАННОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ

Цель работы. Улучшение результатов лучевой терапии онкологических больных за счет повышения качества планирования IMRT облучения, путем выявления зон опухоли с минимальной оптической плотностью, получающих поглощенную дозу, меньшую от запланированной, и с ее последующей коррекцией.

Материалы и методы. По выявленным «точкам» с минимальной оптической плотностью и поглощенной дозой, менее запланированной, проводили «gescale» с тем, чтобы ее значения достигли заданной в плане.

Результаты. Увеличился процент покрытия изодозой GTV и PTV, на участке с СОД менее запланированной, поглощенная доза увеличилась до заданной.

Выводы. Определение участков опухоли с минимальной оптической плотностью позволяет выявить зоны с вероятно меньшим значением СОД от заданной; коррекция СОД в этих зонах позволит улучшить качество лучевой терапии.

Ключевые слова: 3D планирование, IMRT облучение.

На современном этапе развития науки и практики 3D планирование конформной, модулированной по интенсивности (intensity-modulated radiation therapy — IMRT) и корректируемой по изображениям (image guided radiation therapy — IGRT) лучевая терапия является большим шагом вперед в оказании специализированной помощи онкологическим больным [1]. Методология планирования облучения с применением цифровых технологий, учитывающая попиксельное распределение поглощенной энергии мегаэлектронвольтового фотонного излучения, рассчитывается и моделируется планирующими системами. Реализуется план ускорителем, формирующим точные размеры, форму поля облучения и оптимальный характер глубинного распределения поглощенной дозы. Локальное, мощное воздействие на патологический очаг и зоны интереса, без тотального влияния (как при ПХТ) на весь организм, выводят лучевую терапию в авангард средств борьбы со злокачественной патологией [2].

Большой процент запущенности впервые выявленных случаев заболеваний, сложные локализации, большой объем облучаемых тканей, существующие клинические стандарты планирования оставляют погрешности со стороны равномерности облучения каждого пикселя очага заданной дозой, в результате остаются участки опухоли, поглощенная доза в которых

меньше запланированной. В этих участках сохраняются все радиобиологические предпосылки рецидива.

Нами в предыдущих работах были показаны некоторые особенности компьютерных программ, применяемых в планировании лучевой терапии, дающие относительно большой процент погрешности получаемых данных [3, 4].

Цель данной работы — улучшение результатов лучевой терапии онкологических больных за счет повышения качества планирования IMRT облучения, путем выявления зон опухоли с минимальной оптической плотностью, получающих поглощенную дозу, меньшую от запланированной, и определение путей для устранения этого.

Объект исследования. Особенности распределения поглощенной дозы в опухоли при планировании IMRT облучения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявление зон опухоли с минимальной оптической плотностью, получающих поглощенную дозу, меньшую от запланированной, проводили у больных с опухолями различных локализаций и гистологии.

Рентгенокомпьютерную томографию (РКТ) проводили на спиральном рентгенокомпьютерном томографе фирмы Toshiba Aquillion Lbс толщиной реконструкции срезов изображения — 3 мм.

Планирование облучения для линейного ускорителя Elekta Synergy Platform с энергией фотонов — 6 МэВ проводили на планирующей системе Monaco

5.11 методом dMLC, алгоритмом расчета — Монте Карло, сетка расчета — 3 мм.

После стандартного выделения зон интересов, на изображении опухолевого очага каждого среза (зона GTV) определяли точку — пиксель (воксель) с минимальным значением оптической плотности и устанавливали на ней метку.

Проводили расчет параметров наиболее оптимального облучения заданных объемов.

По выявленным программой «точкам» с минимальной оптической плотностью и поглощенной дозой, менее запланированной, проводили перемасштабирование «gescale», задав необходимые значения поглощенной дозы в этих точках с тем, чтобы ее значения достигли заданной в плане.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основу 3D планирования, в частности IMRT облучения фотонами на ускорителе электронов с энергией 6 МэВ, составляет компьютерное определение поглощенной дозы каждого пикселя изображения рентгенокомпьютерных срезов патологического очага. Главным критерием степени поглощения энергии излучения служит оптическая плотность (ОП) пикселя. Зависимость — прямая. Расчеты проводят с помощью различных методов, наиболее точным из которых считается метод Монте-Карло [5].

В качестве иллюстрации приводим результат планирования и его коррекции больной Ф-ой, 1948 г.р. №АК: 021418. ДЗ: рак верхнечелюстной пазухи слева $T_4 N_x M_0$. ПГЗ №2393–97: переходно-клеточный рак с участком умеренной и низкой дифференцировки.

Для определения участков опухоли, в которых вероятно наименьшая поглощенная доза, на каждом компьютерном срезе с изображением опухолевого очага (зона GTV) с помощью средств программы планирующей системы определяли точку — пиксель (воксель) с минимальным значением оптической плотности и устанавливали на ней метку (рис. F1 цв. вкл.).

Проводили планирование условий облучения с заданной СОД 66 Гр. В результате в выделенных точках программой определялись значения СОД, менее запланированной.

Результат программного определения точек с поглощенной дозой, менее заданной, представлен на рис. FII цв. вкл. На рисунке видно, что при заданной СОД в опухоли 66 Гр значение СОД в точке 28 составило 65,643 Гр.

Для приведения СОД в точке 28 к заданной в плане провели перемасштабирование, установив в ней значение СОД — 66 Гр (рис. FIИ цв. вкл.). Результат перемасштабирования по точке 28 привел к увеличению СОД в ней до запланированной (рис. FIV цв. вкл.).

В точке 28, где СОД была менее запланированной — она повысилась до заданной — 66 Гр.

Вместе с этим, увеличилось покрытие по изодозе в области планируемого объема мишени (PTV) (рис. FV, FVI цв. вкл.).

Клинический выигрыш планируемого объема мишени составил 2,91 %.

Аналогичные изменения в сторону увеличения процента изодозного покрытия произошли и со стороны GTV (Gross Tumor Volume) — макроскопического объема опухоли.

После перемасштабирования в точке 28, процент покрытия изодозой в 66 Гр увеличился с 95,24 % до 98,78 %. Клинический выигрыш составил 3,54 %.

Поглощенная доза в критических органах после перемасштабирования увеличилась незначительно — максимально в области левого глазного нерва на 0,26 Гр, оставаясь во всех критических органах в пределах допустимых значений (рис. 5, 6).

Радиобиологический анализ клинического значения полученных результатов показывает, что любое увеличение поглощенной дозы в опухоли и процента изодозного покрытия, особенно зоны GTV, зоны визуализируемого объема опухоли, в которой гарантированно присутствуют злокачественные клетки, безусловно увеличивают вероятность безрецидивного течения, поскольку заданная, обоснованная канцероцидная доза ею была поглощена. В этой связи клинический выигрыш изодозного покрытия в 3,54 % в этой зоне и доведением его почти до 99 %, можно считать значительным. Кроме того, именно в этой зоне располагался участок с поглощенной дозой, менее запланированной, что являлось прямой угрозой рецидива. Перемасштабирование в этой точке позволило увеличить в ней СОД до заданной, что вывело этот участок из категории «сомнительного» по прогнозу.

Планируемый объем мишени — зона, в которой, наряду с опухолью, присутствует значительный объем тканей с вероятным (но не обязательным) содержанием злокачественных клеток. В этой связи на современном этапе развития науки и техники, радиобиологически обоснованно изодозное покрытие PTV 95 % и выше. Меньшие значения увеличивают вероятность рецидива опухоли. Увеличение изодозного покрытия этой зоны с 93 % до 95,91 % — клинически значимо, поскольку переводит план в разряд приемлемого.

Таким образом, показана возможность улучшения результатов лучевой терапии онкологических больных за счет повышения качества планирования IMRT облучения, путем выявления зон опухоли с минимальной оптической плотностью, получающих поглощенную дозу, меньшую от запланированной, и перемасштабированием плана относительно этих зон, задав в них планируемую СОД.

ВЫВОДЫ

1. Определение участков опухоли с минимальной оптической плотностью позволяет выявить зоны с вероятно меньшим значением СОД от заданной.

2. Коррекция СОД в этих зонах с доведением ее до запланированной, позволит улучшить качество лучевой терапии за счет уменьшения количества недооблученных клеток и вызванных этим рецидивов опухоли.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гарантия* качества медицинских линейных ускорителей электронов / Доклад рабочей группы № 142 Комитета по лучевой терапии Американской ассоциации медицинских физиков / E. E. Klein, J. Hanley, J. Bayouth et. al. // *Med. Phys.* — 2009. — Vol. 36, N 9. — P. 4197–4212. Перевод Т.Г. Ратнер под ред. Ю. В. Журова и И. М. Лебеденко // *Мед. физика.* — 2010. — № 4. — С. 94–115
2. *Климанов В. А.* Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Ч. 3. Лучевая терапия пучками с модулированной интенсивностью. Оптимизация облучения : учеб. пособие / В. А. Климанов. — М. : МИФИ, 2008. — 176 с.
3. *Хворостенко М. И.* Влияние тканевой неоднородности опухоли на качество планирования лучевой терапии / М. И. Хворостенко, И. Н. Кихтенко, Ю. М. Хворостенко // *Укр. радіол. журн.* — 2016. — Т. 24, вып. 2. — С. 67–72.
4. *Хворостенко М. И.* Некоторые особенности программы «eFilm» при анализе DICOM файлов компьютерной томографии опухоли у онкологических больных / М. И. Хворостенко, И. Н. Кихтенко, Ю. М. Хворостенко, В. В. Гончар // *Наук. пр. : Наук.-метод. журн. — Техногенна безпека.* — Миколаїв : Видав-во ЧДУ ім. Петра Могили. — 2016. — Вип. 268. — Т. 280. — С. 58–63
5. *US 6882702 B2.* <https://www.google.ch/patents/US6882702>
6. *Современные технологии лучевой терапии: IMRT, VMAT с использованием симультантного интегрированного буста (SIB) в комплексном лечении плоскоклеточного рака анального канала / С. И. Ткачев, В. В. Глебовская, А. О. Расулов, и др.* // *Соврем. онкология.* — 2014. — № 2. — Т. 16. — С. 60–65.

Статья поступила в редакцию 26.05.2017.

М. І. ХВОРОСТЕНКО¹, І. М. КИХТЕНКО¹, Ю. М. ХВОРОСТЕНКО¹, С. В. ВОЛОКІТІН², Н. В. СКЛЯР²

¹ ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»

² КУ «Обласний клінічний онкологічний диспансер» ДОР Дніпро

**ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПЛАНУВАННЯ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ
З МОДУЛЬОВАНОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ**

Реферат. Стандарти 3D планування не виключають наявності ділянок пухлини, поглинена доза в яких менше запланованої, що є передумовою рецидиву.

Мета роботи. Поліпшити результати променевої терапії онкологічних хворих за рахунок підвищення якості планування IMRT опромінення, шляхом виявлення зон пухлини з мінімальною оптичною щільністю, що отримують поглинену дозу, меншу від запланованої, та визначення шляхів для усунення цього.

Матеріали і методи. За виявленими «мітками» з мінімальною оптичною щільністю і поглиненою дозою, менше запланованої, проводили «gescale» з тим, щоб її значення досягли заданої в плані.

Результати. Збільшився відсоток покриття ізодозою GTV і PTV, на ділянці з сумарною осередковою дозою (СОД) менше запланованої, поглинена доза збільшилася до заданої.

Висновки. Визначення ділянок пухлини з мінімальною оптичною щільністю дозволяє виявити зони з вірогідно меншим значенням СОД від заданої; корекція СОД в цих зонах дозволить поліпшити якість променевої терапії.

Ключові слова: 3D планування, IMRT опромінення

M. I. KHVOROSTENKO¹, I. N. KIKHTENKO¹, Y. M. KHVOROSTENKO¹, S. V. VOLOKITIN², N. V. SKLYAR²

¹ *State Institution Dnipropetrovsk Medical Academy of Ministry of Health of Ukraine*

² *Public Institution Clinical Oncological Dispensary Dnipropetrovsk Regional Council*

WAYS OF IMPROVING THE QUALITY OF PLANNING RADIOTHERAPY WITH MODULATED INTENSITY

Introduction. 3D planning standards do not exclude the presence of sections of the tumor with absorbed dose less than planned, which is considered as a prerequisite for relapse.

Purpose. To improve radiation therapy outcomes in cancer patients through the enhancing IMRT radiation planning quality, identifying areas of the tumor with minimal optical density exposed to lower absorbed dose in comparison with the planned one and assessment of the ways to eliminate it.

Materials and methods. Due to identified locations with a minimum optical density and the absorbed dose lower than the planned one, the “resale” was carried out. It was aimed to achieve the values recorded in the plan.

Outcomes. The percentage of coverage isodose GTV and PTV was increased; on the area, where the total focal dose was lower than the planned, the dose absorbed was increased in comparison with the recorded one.

Conclusions. Assessment of the tumor areas with minimal optical density makes it possible to detect areas with likely lower value of the total focal dose in comparison with the target on; correction of the total focal dose in these areas will improve the quality of radiation therapy.

Keywords: 3D planning, IMRT radiation.

Контактная информация:

Хворостенко Михаил Иванович

д-р мед. наук, профессор кафедры онкологии и медицинской радиологии

ГУ «Днепропетровская медицинская академия МОЗ Украины»

ул. Вернадского, 9, г. Днепр, 49044, Украина

тел.: +38 (066) 780-07-64