

новые технические возможности, направленные на сокращение времени сеансов облучения, особенно при проведении радиохирургии. К ним необходимо отнести облучение небольших полей (до 5–6 см²) фотонами, выводимыми из терапевтических выходных устройств без применения выравнивающих фильтров. При этом мощность поглощенной дозы возрастает до 22–24 Гр/мин. Исследования дозиметрических характеристик таких пучков представляет собой непростую задачу. Пока в Республике Беларусь такие аппараты отсутствуют. При их появлении планируется разработать дополнения к настоящей инструкции.

Созданная инструкция по дозиметрическому сопровождению высокотехнологичной лучевой терапии в настоящее время корректируется, проверяется и будет представлена на утверждение в Министерство здравоохранения Республики Беларусь во второй половине 2014 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин И. Г. Применение медицинских линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович
2. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: an International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water // IAEA Technical Report. — Vienna. — 2000. — № 398.
3. Carol M. P. // The International Journal of Imaging Systems and Technology. — 1995. — Vol. 6. — № 1. — P. 56–61.
4. Quality Assurance in Radiotherapy: Proceedings of the Working Meeting on National Programmes // International Atomic Energy Agency. International Society for Radiation Oncology. — 1997.
5. Khan F. M. The Physics of Radiation Therapy. — Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2010. — 531 с.
6. Van Dyk J. Advances in Modern Radiation Therapy / J. Van Dyk // The Modern Technology of Radiation Oncology. — Madison: WI, 1999. — Vol. 1. — Ch. 1.

Е. В. Титович, И. Г. Тарутин, Г. В. Гацкевич

ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова, Минск, Республика Беларусь

ВЕРИФИКАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ IMRT В РНПЦ ОМР им. Н. Н. АЛЕКСАНДРОВА

Обсуждается содержание подготовленной инструкции по дозиметрическому сопровождению новых методов лучевой терапии на современных линейных ускорителях электронов. Кратко описаны виды дозиметрических измерений для оценки качества работы отдельных систем и устройств, используемых при облучении пациентов.

Ключевые слова: лучевая терапия, высокие технологии, дозиметрическое сопровождение.

Обговорюється зміст підготовленої інструкції з дозиметричного супроводу нових методів променевої терапії на сучасних лінійних прискорювачах електронів. Стисло описані види дозиметричних вимірювань для оцінки якості роботи окремих систем і пристроїв, використаних під час опромінення пацієнтів.

Ключові слова: променева терапія, високі технології, дозиметричний супровід.

Verification measures for exposure patients to radiation using IMRT method at RSPC OMR of N.N. Alexandrov

The contents of the prepared instruction on dosimetric maintenance of new methods radiation therapy on modern linear accelerators of electrons are discussed. Types of dosimetry for performance evaluation of separate systems and devices used at patients beaming are briefly described.

Key words: radiation therapy, high technologies, dosimetric maintenance.

В Государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова» уже на протяжении 6 лет проводится облучение пациентов по методике лучевой терапии с модулированной интенсивностью (IMRT). За это время более 1000 пациентов получило лечение по самым высоким клиническим стандартам. Для проведения облучения по методикам с использованием модуляции на одном уровне с ведущими европейскими клиниками необходима не только соответствующая материально-техническая база, высококвалифицированный медицинский и инженерно-физический персонал, строгое следование протоколам лечения, но и проведение соответствующей программы гарантии качества. Неотъемлемой частью такой

программы, помимо различного рода функциональных тестов и проверок технико-дозиметрических характеристик используемого оборудования, будет являться верификация доставляемого дозового распределения.

В общем понимании этого слова верификация — это проверка, проверяемость, способ подтверждения, контроль с помощью доказательств каких-либо теоретических положений, алгоритмов, программ и процедур путем их сопоставления с опытными (эталонными или эмпирическими) данными, алгоритмами и программами.

В лучевой терапии верификация — независимая комплексная проверка, подтверждающая соответствие дозового распределения, доставленного к мишени внутри тела пациента, запланированному распределению с погрешностью результата облучения,

не превышающей заданную величину критерия приемлемости. Условно можно выделить три большие группы верификационных мероприятий:

- верификация расчета дозового распределения;
- верификация доставки дозового распределения;
- верификация положения пациента во время облучения [1].

Каждая из этих составляющих очень важна, и только при проведении мероприятий по всем трем направлениям можно достигнуть надлежащего качества проведения процедур облучения пациентов.

Верификация доставки дозового распределения при облучении по методикам с модуляцией интенсивности должна предшествовать началу курса облучения каждого пациента (первой укладке) и может быть проведена с использованием интегрированного в линейный ускоритель детектора ионизирующего излучения EPID, либо двухмерного матричного анализатора поля, либо дозиметрической пленки. Использование EPID для верификации планов IMRT и VMAT возможно только при условии наличия программного обеспечения с возможностью использования алгоритма портальной дозиметрии GLAaS [2, 3] либо стороннего платного программного обеспечения [4].

В нашем Центре для верификации всех IMRT планов облучения используются интегрированные с ускорителями Trilogy и Unique ЭДПИ aS1000 компании Varian medical systems.

ЭДПИ aS1000 — это плоскостельный детектор из аморфного кремния, смонтированный на механическом манипуляторе E-ARM, что позволяет транслировать его по трем осям, в том числе и дистанционно. Наиболее применимыми для дозиметрии с использованием этого типа ЭДПИ являются вертикальные положения детектора 05 и 80 ниже изоцентра вращения штатива.

Детектор aS1000 имеет активную детектирующую область $40 \times 30 \text{ см}^2$. Матрица изображения состоит из массива 1024×768 пикселей. Максимальная скорость получения кадров составляет 9,574 кадров/с, допустимый диапазон энергий 425 МВ, допустимая мощность дозы 50–600 МЕ/мин [5].

Для корректного измерения абсолютного значения с помощью ЭДПИ необходима предварительная калибровка как механических, так и дозиметрических его параметров.

В первую очередь проводится калибровка изоцентричности установки детектора портальных изображений. Для этого необходимо провести определенные действия.

1. Снять пластиковую панель, защищающую детектор от столкновений.
2. Установить панель детектора в изоцентр радиационного пучка (для этого на поверхности панели обозначено перекрестие), а также выставить расстояние «источник-поверхность детектора», равное расстоянию от источника ИИ до оси вращения штатива ускорителя (98,8 см до поверхности панели).
3. Зайти в режим «Физика» для E-ARM и провести соответствующую процедуру калибровки (IDU iso calibration).

Вслед за калибровкой механического положения плоскостельного детектора проводится калибровка параметров (качества) изображений, получаемых с помощью ЭДПИ. Для этого проводится процедура flood field-dark field calibration.

Во время проведения этой процедуры необходимо получить два изображения. Первое из них — «dark field» обеспечивает систему Portal Vision информацией о фоновых шумах и получается путем считывания ответа каждого из пикселей детектора в отсутствие излучения. Оно представляет собой серию узких вертикальных полосок, что объясняется разной чувствительностью рядов детекторной матрицы. Изображение «flood field» получается при облучении детектора в однородном пучке излучения заданной энергии и мощности дозы и служит критерием равномерности дозы. Это изображение предназначено для коррекции индивидуальной чувствительности каждого из пикселей детектора.

Данная процедура выполняется для каждой комбинации энергии облучения и мощности дозы, предполагаемых к использованию, а также для каждой техники получения изображений и проводится с применением специализированного программного обеспечения AM maintenance.

Для получения дозовых изображений необходима также дозиметрическая калибровка детектора портальных изображений. Для этого в систему загружается диагональное профильное распределение для требуемой энергии излучения и проводится облучение детектора опорным значением дозы, рассчитанным в компьютерной системе планирования облучения. После этого проводится коррекция полученного ответа центрального детектора для приведения его в соответствие с опорным значением дозы с использованием при необходимости метода обратных квадратов.

Для корректного расчета портальной дозы КСПО необходима конфигурация алгоритма ее расчета. В случае с системой планирования «Eclipse» этот алгоритм носит название PDC и требует для функционирования следующих дозиметрических данных.

1. Дозовые распределения, полученные ЭДПИ при двух разных РИП при облучении поля, сформированного при помощи опорной последовательности движения пластин МПД (рис. 1). Это необходимо для конфигурации ядра рассеивания радиационного пучка.
2. Коэффициенты радиационного выхода, измеренные для определенных размеров полей облучения (табл. 1).
3. Профиль интенсивности излучения на глубине максимума ионизации (может быть получен из дозиметрических данных уже сконфигурированных алгоритмов расчета дозового распределения для фотонного излучения) [6].

После конфигурации алгоритма PDC необходимо провести его валидацию. Для этого следует создать и рассчитать некоторое количество (до 10) тестовых пациентов и провести верификацию доставки дозового распределения их планов облучения.

Типовая процедура подготовки к верификации доставки дозового распределения IMRT плана облучения пациента, в том числе и тестового,

и непосредственно верификации с использованием ЭДПИ в РНПЦ ОМР выглядит следующим образом:

- 1) производится создание верификационного плана облучения для ЭДПИ из лечебного плана облучения в планирующей системе «Eclipse» с использованием алгоритма предсказания портальной дозы (PDC);
- 2) верификационный план одобряется для облучения физиком или дозиметристом, ответственным за процесс верификации;
- 3) проводится облучение согласно верификационному плану на линейном ускорителе;
- 4) производится сравнение рассчитанных и полученных дозовых распределений в специальном приложении КСПО «Eclipse».

Основным методом оценки служит гамма-индексирование (процент точек с гамма-индексом >1 при различных значениях параметров индексации). Проводится также сравнение профильных распределений дозы и значений доз в отдельных точках. Производителями рекомендованы следующие параметры индексации при проведении оценки планов облучения с использованием EPID:

- 4% (6% для стереотаксического облучения) расхождение в абсолютном значении дозы (dose difference);

- 4 мм (2 мм для стереотаксического облучения) расхождение в расстоянии между точками с одинаковыми значениями дозы (distance to agreement);
- критерий приемлемости результата верификации — <1% количества точек с гамма — индексом >1 по отношению к общему числу точек оценки плана.

После успешной валидации алгоритма можно с использованием ЭДПИ проводить верификацию IMRT планов облучения для реальных клинических случаев по методике аналогичной описанной выше.

Типовой протокол верификационных мероприятий с использованием ЭДПИ представлен в РНПЦ ОМР.

В клинической практике РНПЦ ОМР для верификации IMRT планов облучения пациентов метод оценки дозовых изображений, полученных при помощи ЭДПИ, используется более шести лет. За это время были проведены верификационные мероприятия более чем 1000 пациентам. Метод зарекомендовал себя как надежный, быстрый и точный способ оценки доставляемых дозовых распределений и особенно актуален для отделений с большим потоком пациентов и малыми промежутками свободного машинного времени линейных ускорителей.

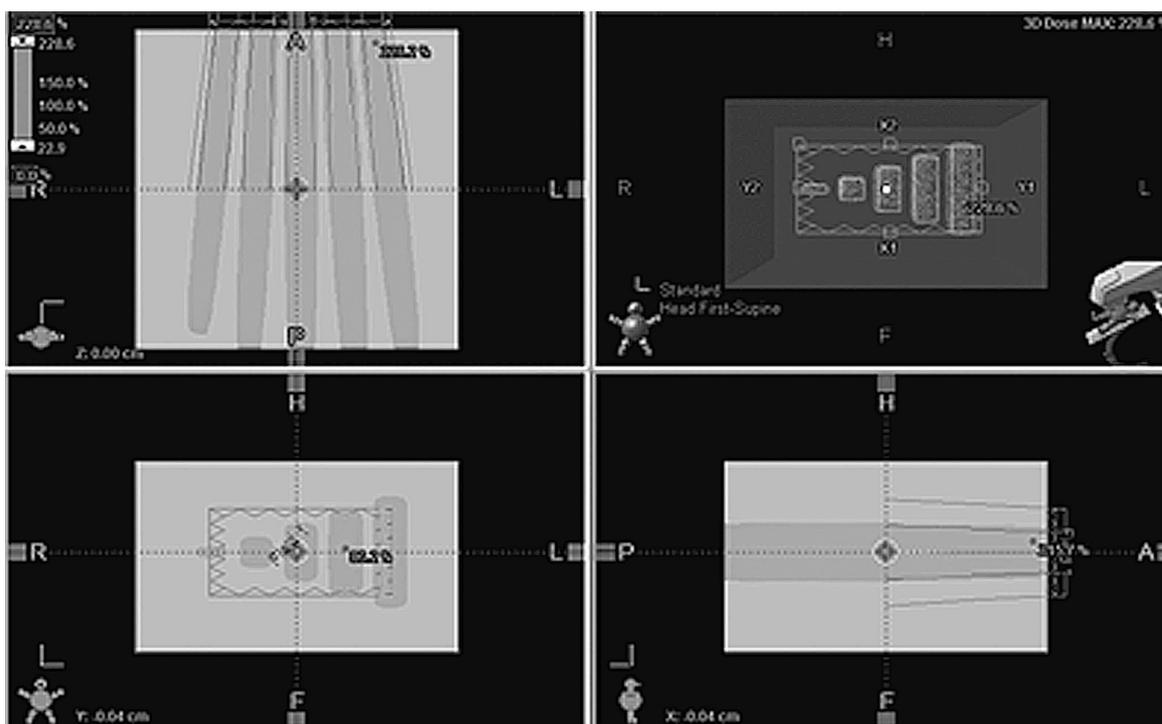


Рис. 1. Расчет плана облучения для вычисления ядра рассеивания радиационного пучка

Таблица 1

Размеры полей, необходимые для измерения КРВ

	Ширина (X)							
	Наименьший размер	5	10	15	20	28	38	
Высота (Y)	Наименьший размер	Измерение	Измерение	Измерение	Расчет	Расчет	Расчет	Измерение
	5	Измерение	Измерение	Измерение	Расчет	Расчет	Расчет	Расчет
	10	Измерение	Измерение	Измерение	Расчет	Расчет	Расчет	Расчет
	15	Расчет	Расчет	Расчет	Измерение	Расчет	Расчет	Расчет
	20	Расчет	Расчет	Расчет	Расчет	Измерение	Расчет	Расчет
	28	Расчет	Расчет	Расчет	Расчет	Расчет	Измерение	Измерение
	38	Расчет	Расчет	Расчет	Расчет	Расчет	Измерение	н/д

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин И. Г. Применение медицинских линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович.
2. Eclipse Algorithms reference guide 8.6. / Varian Medical Systems, Inc. [Electronic resource]. — 2008.
3. Essers M. Commissioning of a commercially available system for intensity modulated radiotherapy dose delivery with dynamic multileaf collimation / M. Essers [et al.] // Radiotherapy and Oncology. — 2001. — Vol. 60. — № 3. — P. 215–224.

4. Nicolini G. The GLAAS: algorithm for portal dosimetry and quality assurance of Rapid Arc, an intensity modulated rotational therapy / G. Nicolini [et al.] // Radiation Oncology. — 2008. — Vol. 3, September. — P. 24–32.

5. Nicolini G. The GLAAS: an absolute dose calibration algorithm for an amorphous silicon portal imager. Applications to IMRT verifications / G. Nicolini [et al.] // Medical Physics. — 2006. — Vol. 33. — № 8. — P. 2839–2851.

6. Portal Vision aS1000. Varian Medical Systems [Electronic resource]. — 2006. — Mode of access: http://www.behestandarman.com/varian%20products/Portal%20Image/PortalVision_aS1000_2553B.pdf.

Н. Г. Семикоз^{1,2}, Р. Є. Горovenko¹, І. О. Камінський¹, Ю. М. Селівра¹, О. О. Грабовський¹

¹Комунальна клінічна лікувально-профілактична установа

«Донецький обласний протипухлинний центр»,

²Донецький національний медичний університет ім. М. Горького

МЕТОДОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ ЛІКУВАННЯ ПУХЛИН ШКІРИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТАКТНИХ АПЛІКАТОРІВ У БРАХІТЕРАПІЇ

За підтримки Благодійного фонду Ріната Ахметова «Розвиток України» в червні 2013 року в Донецькому обласному протипухлинному центрі було зроблено переоснащення блоку контактної променевої терапії. Сучасне планування контактної променевої терапії можна розділити на кілька етапів: первинний огляд, розстановка рентгеноконтрастних міток, отримання зображень, створення плану.

Брахітерапія видаляє пухлину без розрізів і швів, що набуває особливого значення за оцінки косметологічних наслідків лікування.

Аплікаційні «насадки» не травмують поверхню, вони точно підганяються до рельєфу шкіри на конкретній ділянці. Опромінення строго локалізоване, сусідні ділянки тканин залишаються непроміненими.

Ключові слова: брахітерапія, контактна променева терапія, планування, аплікатори, опромінення.

При поддержке Благотворительного фонда Рината Ахметова «Развитие Украины» в июне 2013 года в Донецком областном противоопухолевом центре было произведено переоснащение блока контактной лучевой терапии.

Современное планирование контактной лучевой терапии можно поделить на несколько этапов: первичный осмотр, расстановка рентгеноконтрастных меток, получение изображений, разработка плана.

С помощью брахитерапии можно удалить опухоль без разрезов и швов, что имеет особое значение при оценке косметологических последствий лечения.

Апликационные «насадки» не травмируют поверхность, они точно подгоняются к рельефу кожи на конкретном участке. Облучение строго локализованное, соседние участки тканей остаются необлученными.

Ключевые слова: брахитерапия, контактная лучевая терапия, планирование, аплікаторы, облучение.

Planning methodology of the treatment of tissue tumors with the usage of contact applicators in brachytherapy

Donetsk Regional Antitumoral Center was re-equipped with unit of contact radiation therapy through intermediary of charitable fund of Rinat Ahmetov "Ukraine development" in June, 2013.

Modern planning of contact radiation therapy could be divided into several stages: primary examination, location of rentgenocontrast markers, imaging, planning.

The tumor can be removed without incisions and stitches by brachytherapy that is very important for evaluation of cosmetological consequences after treatment.

Contact "nozzles" don't traumatize the surface, they are adjusted exactly to relief of the area of the skin. Exposure to radiation is strictly localized, adjacent tissues are not affected.

Keywords: brachytherapy, contact radiation therapy, planning, applicators, exposure to radiation.

При поддержке Благотворительного фонда Рината Ахметова «Развитие Украины» в июне 2013 года в Донецком областном противоопухолевом центре было произведено переоснащение блока контактной лучевой терапии. Сейчас

в распоряжении блока 2 аппарата для брахитерапии — Multisource с источником Co-60 и GammaMed с активным источником Ir-192, а также 2 планирующих станции. За период работы было пролечено более 200 пациентов.