

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ

Титович Е. В.¹, Тарутин И. Г.¹, Киселев М. Г.²

¹ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова»,
²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Обсуждается необходимость разработки методов и устройств контроля качества характеристик современных медицинских ускорителей электронов – основной меры радиационной защиты пациентов при проведении лучевой терапии злокачественных опухолей. Рассмотрены устройства и системы ускорителей, непосредственно влияющие на точность отпуска поглощенной дозы и распределение дозы в теле облучаемых пациентов. Разрабатываемые методы и устройства контроля качества являются основой национального протокола контроля качества медицинских ускорителей, который будет использоваться во всех онкологических учреждениях Республики Беларусь.

Введение

Контроль качества характеристик аппаратов и приборов, применяемых в лучевой терапии злокачественных новообразований, является ключевым элементом радиационной защиты пациентов, подвергающихся этому виду медицинского облучения. Под контролем качества понимается система организационных мероприятий, технических средств и технологических процедур для количественного определения, мониторинга и поддержания на оптимальных уровнях рабочих характеристик терапевтической аппаратуры, а также режимов терапевтического лечения [1, 2].

Международная комиссия по радиологическим единицам (МКРЕ) еще в 1976 г. рекомендовала, чтобы неопределенность подведения поглощенной дозы к мишени на любых терапевтических аппаратах не превышала 5 % [3]. Для этого погрешность проведения каждого шага в технологической цепочке планирования и облучения пациентов должна быть много меньше 5 %. Отсюда определяются предельно допустимые погрешности установки и изменения параметров пучков излучения, которые не должны превышать 1–1,5 %.

В настоящее время аппаратами, наиболее отвечающими современным требованиям лучевой терапии, являются медицинские ускорители электронов с энергией электронов и фотонов в диапазоне от 6 до 20 МВ.

Принятие мировым сообществом новых нормативных и рекомендательных документов по радиационной защите пациентов от медицинского облучения, в частности в лучевой терапии, привело к стремительному совершенствованию технических средств дистанционного облучения пациентов. Главной особенностью их развития явился интенсивный переход от дистанционных гамма-терапевтических аппаратов с источником излучения кобальта-60 на медицинские ускорители электронов. В прошлом столетии на ускорителях практически полностью повторялись те методики облучения, которые использовались на аппаратах с источниками излучения кобальта-60. Но последние 10 лет оказались исключительно плодотворными в развитии новых методов облучения пациентов на ускорителях электронов. На ускорителях начали устанавливаться многопластинчатые диафрагмы с большим числом пластин (до 160) и величиной создаваемой тени на референсном расстоянии от 2,5 до 10 мм, позволяющие создавать фигурные поля облучения. Каждая пластина диафрагмы управляется своим приводом. Динамические диафрагмы позволяют автоматически менять конфигурацию поля облучения при вращении излучателя вокруг пациента по заданной программе.

Для более тщательного контроля условий облучения и выполнения требований нормативных документов, заключающихся в максимально возможном уменьшении объемов облу-

чения нормальных тканей и поглощенной дозы в них, новые ускорители снабжены системами непрерывного рентгеновского контроля положения пациентов под пучками излучения, а также системами электронного контроля самого излучения, прошедшего через облучаемый объект [4].

Появились медицинские ускорители, позволяющие лечить пациентов принципиально новым методом терапевтического спирального облучения, наподобие рентгеновских компьютерных томографов, стереотаксическим методом облучения мишеней в любой части тела полями размерами от 2 до 20 мм и т.п.

Основная часть

Стремительное развитие техники облучения на основе медицинских ускорителей потребовало столь же стремительной разработки новых протоколов контроля качества, которые бы учитывали изменения в конструкциях ускорителей и их выходных устройств, а также устройств верификации условий облучения.

Контроль качества – это, прежде всего, оценка функциональных характеристик, которые, в конечном счете, влияют на геометрическую и дозиметрическую точность подведения дозы. Эксплуатационные характеристики оборудования могут изменяться внезапно из-за неисправности какой-либо части или механической поломки или медленно – из-за изношенности и старения деталей. Следовательно, возникают два существенных требования: следует периодически проводить тестирование всего применяемого оборудования, включая приборы, применяемые для контроля качества, и проводить регулярный профилактический дозиметрический контроль для тестирования всех параметров и корректировки работы терапевтических аппаратов и измерительного оборудования. Цель этих процедур – обеспечение постоянства заданных характеристик и физических параметров, установленных во время ввода оборудования в действие [5].

Для разработки контроля качества аппаратов важно использовать простые, быстрые и воспроизводимые методы измерения. Методики тестирования должны быть способны различить изменения параметров, которые меньше, чем допуск или уровень действия (тест должен быть так точен, чтобы два среднеквадратичных отклонения в измерении параметра были

меньше, чем уровень действия). При этом следует минимизировать время его проведения.

В мировой литературе можно встретить много различных рекомендаций, включая международные, по контролю качества, однако они часто противоречат друг другу, особенно в отношении частоты проверок и применяемых для этого приборов и вспомогательного оборудования. По-разному оценивается неопределенность проводимых измерений. Поэтому адаптация всех этих документов к региональным условиям с учетом состояния проверяемых аппаратов, их соответствия мировым требованиям имеющегося парка контрольных приборов, является совершенно необходимой [6, 7].

Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова» уже много лет использует в клинической практике медицинские ускорители электронов. Для простых ускорителей в 2003 г. был разработан протокол контроля качества их характеристик [8]. С 2005 г. клиническую практику начали поступать новые ускорители, позволяющие применять для лечения пациентов такие методики, которые требуют очень сложного и трудоемкого контроля качества самого процесса лучевой терапии и особенно характеристик ускорителей. Ускорители укомплектованы сложными дополнительными системами и устройствами, качественная работа которых и позволяет проводить качественную лучевую терапию. Кратко рассмотрим эти устройства и методики облучения с их использованием.

Многопластинчатая диафрагма (коллиматор)

Многопластинчатая диафрагма – устройство, состоящее из большого количества независимых лепестков (экранов), которые могут блокировать определенную часть радиационного пучка. Многопластинчатые диафрагмы позволяют формировать фигурные поля облучения без применения защитных блоков и менять конфигурацию и размеры поля в зависимости от угла падения пучка на объект. Широкое применение диафрагмы нашли в реализации конформного метода облучения, целью которого является максимальное приближение заданной изодозной поверхности к поверхности мишени с максимально быстрым спадом

дозы за ее пределами. Суть метода заключается в том, что при применении многопластинчатой диафрагмы удастся существенно уменьшить объем облучения нормальных тканей и органов риска (критических органов), окружающих мишень (опухолевый очаг). При этом уменьшается и подводимая к органам поглощенная доза.

Многопластинчатые диафрагмы широко используются при проведении облучения по самым новейшим и прогрессивным методикам облучения, таких как IMRT (лучевая терапия с модулированной интенсивностью), SRS (стереотаксическая радиохирургия) и IMAT (ротационная (подвижная) терапия с модулированной интенсивностью).

Система регистрации портальных изображений

Система регистрации портальных изображений (EPID – Electronics Portal Image Detector) представляет собой плоскопанельный детектор на базе аморфного кремния с разрешением от 512 на 512 точек до 2048 на 1536 точек и предназначена для контроля качества облучения пучками фотонов, прошедших через облучаемый объект, и проверки правильности воспроизведения геометрических условий облучения, положения и неподвижности пациента на терапевтическом столе, а также портальной дозиметрии. Применяется при проведении облучения по методикам IGRT (лучевая терапия, управляемая изображениями) и IMRT.

Навесной рентген-аппарат

Навесной рентген-аппарат (OBI – on-board imager) представляет собой систему из рентгеновской трубки и плоскопанельного детектора на базе аморфного кремния, закрепленную на штативе ускорителя и предназначенную для верификации положения пациента на лечебном столе непосредственно перед началом и в процессе сеанса облучения. Применяется при проведении облучения по методике IGRT (лучевая терапия, корректируемая по изображениям).

Методы облучения в лучевой терапии

Конформная лучевая терапия с использованием объемного (трехмерного) планирования – на сегодняшний день повсеместно используется в мировой практике и является са-

мым распространенным методом облучения пациентов. Обеспечивает хорошие распределения дозы за счет применения многолепестковых диафрагм, вращения штативов ускорителей, коллиматоров и лечебных столов.

Лучевая терапия с модулированной интенсивностью (IMRT). Лучевая терапия с модулированной интенсивностью (IMRT) – это такой метод проведения облучения, который дает возможность осуществлять облучение различных участков лечебного поля во время одного и того же сеанса с различной интенсивностью излучения за счет изменения формы радиационного поля в различные моменты времени и при статических значениях других дозоформирующих параметров ускорителя. За счет большего градиента дозы и использования инверсного планирования условий облучения можно получить дозовые карты и гистограммы доза–объем много лучше, чем при проведении конформной лучевой терапии.

Ротационная лучевая терапия с модулированной интенсивностью (IMAT). Метод обеспечивает высокий градиент поглощенной дозы и, таким образом, позволяет проводить облучение в непосредственной близости от здоровых органов и подводить более значительные дозы на мишень, по сравнению с другими методиками конформного облучения пациентов со злокачественными новообразованиями. Переменные скорости вращения штатива и движения лепестков диафрагмы, а также переменная мощность поглощенной дозы, позволяют получить такие распределения дозы, которые удовлетворяют самым требовательным критериям при определении плана облучения пациента. Поскольку облучение проводится за один оборот штатива ускорителя, то общее количество отпущенных мониторинговых единиц значительно уменьшается по сравнению с другими применяемыми методиками облучения. Улучшается качество облучения окружающих нормальных тканей по критерию «гистограммы доза–объем». Также уменьшается время, проводимое пациентом на лечебном столе. В связи с вышеизложенным, уменьшаются ошибки при подведении дозы в мишень и увеличивается срок службы ускорителя. Однако, для безопасного применения методики ротационной терапии с модулированной интенсивностью IMAT необходимо проведение контроля качества ряда технических и дозиметрических характеристик линейного ускорителя, на котором проводится

облучение. В частности, тормозные и разгонные характеристики штатива ускорителя при его вращении, торможении и разгоне при переходе от одного сегмента облучения к другому нуждаются в пристальном контроле и оценке их влияния на отпускаемую дозу. Также необходим контроль параметров динамической многолепестковой диафрагмы ускорителя при облучении больных с использованием вращения штатива ускорителя, поскольку в различные моменты облучения гравитация по-разному сказывается на движении лепестков диафрагмы вследствие их значительного веса. Данная методика лучевой терапии является на сегодняшний момент самой передовой и перспективной.

Лучевая терапия, корректируемая по изображениям (IGRT). Лучевая терапия, корректируемая по изображениям (IGRT) – высокопрецизионный метод лучевой терапии, основанный на том, что перед каждым сеансом облучения при помощи рентгеновских изображений, полученных с использованием навесного рентгеновского аппарата, верифицируется положение пациента на лечебном столе, путем их сравнения с референсными снимками, полученными в результате компьютерного планирования условий облучения. Таким образом, метод позволяет уменьшить случайную погрешность при укладке пациента на лечебный стол и, тем самым, уменьшить погрешности в подводимой дозе на пациента. Поскольку для осуществления облучения по данному методу необходимо использование ОВІ и EPID, а также многолепестковых диафрагм, то проведение контроля качества параметров этих устройств обязательно.

В ГУ «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова» начата разработка новых методик и устройств контроля качества для современных ускорителей электронов. Основное внимание будет уделено контролю динамических характеристик всех систем аппаратов, влияющих на точность отпуска дозы и распределений поглощенной дозы в объеме тела облучаемых пациентов. К таким системам относятся штатив ускорителя, вращающийся с переменной скоростью в процессе облучения вокруг пациента, многопластинчатые диафрагмы и лечебные столы, движущиеся в процессе облучения. Будет разработана методика

верификации распределений поглощенной дозы в теле пациентов с помощью системы EPID.

Разработанные методики составят основу национального протокола контроля качества новых ускорителей электронов, которые после утверждения Министерством здравоохранения Республики Беларусь будут внедрены в клиническую практику всех онкологических диспансеров республики, в которых установлены такие аппараты.

Заключение

1. Современные медицинские ускорители электронов позволяют существенно повысить результаты лечения онкологических больных только при соблюдении высокого качества работы, как отдельных систем, так и аппарата в целом.

2. Контроль качества работы отдельных систем требует создания специальных устройств и прецизионных методов оценки проверяемых характеристик.

3. Разработанные протоколы контроля качества работы медицинских ускорителей электронов будут применяться на всех аппаратах Республики Беларусь, а также в других странах СНГ.

Список использованных источников

1. Design and Implementation of a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects. - IAEA-TECDOC-1040, - Vienna, - 1998, - 95 p.
2. *Тарутин, И.Г.* Радиационная защита при медицинском облучении / И.Г. Тарутин. - Минск: высшая школа, - 2005. - 335с.
3. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of x- or gamma-rays in radiotherapy procedures. - ICRU Report 24. - 1976.
4. *Тарутин, И.Г.* Техническое обеспечение лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова / И.Г. Тарутин. - Онкологический журнал. - 2010. - Т. 4., №3 (15). - С. 107 - 112.
5. Comprehensive QA for radiation oncology. - Report of the AAPM radiation therapy committee task group № 40. - 2003.
6. Code of practice for accelerators. - Report of the AAPM radiation therapy committee task group. № 45. - 1994.

7. Basic applications of multileaf collimators. – Report of the AAPM radiation therapy committee task group. № 50. – 2001.

8. Контроль качества медицинских ускорителей электронов. – Инструкция по применению МЗ РБ. – Рег № 21-0103. – Минск. – 2003. – 41с.

Tsitovich Y. V., Tarutin I. G., Kiselev M. G.

Quality control of modern medical linear accelerators

The necessity of methods and devices for modern medical linear accelerators quality control development is discussed. Quality control is the basic measure of radiation protection of the patients with malignant tumors during radiotherapy. Linear accelerators devices and systems which are influencing on accuracy of dose delivery and dose distribution within treated patients body volumes were considered. Developed methods and devices become a basis of the national protocol for medical linear accelerators quality control which will be used in all oncological clinics of Belarus Republic.

Поступила в редакцию 25.02.2011.