

обследований, об отдаленных последствиях облучения (положительных и негативных), о способах преодоления негативных побочных эффектов и, особенно, о действиях при резком ухудшении самочувствия.

6. Одной из форм защиты медицинского персонала может стать страхование.

В мировой практике профессиональная ответственность врачей, как правило, подлежит обязательному страхованию. Эта норма прописана в статье 57 Закона Республики Беларусь «О здравоохранении», где сказано, что медицинские и фармацевтические работники имеют право на страхование профессиональной ошибки. Однако в нашей стране эта правовая норма практически не используется. Страхование профессиональной ответственности при наступлении врачебной ошибки не носит обязательный характер.

Технический персонал, обеспечивающий ЛТ, как и медицинский персонал, также должен иметь юридическую защищенность.

Можно дать следующие рекомендации:

1. В программах подготовки, переподготовки технического персонала (в программах учебных заведений, курсов переподготовки, семинаров, в инструкциях и т.п.) должно быть предусмотрено рассмотрение вопросов о юридической ответственности и юридической защищенности.

2. Обязательным является регулярное проведение всех видов периодического контроля технических характеристик аппаратов ЛТ, согласно утвержденным инструкциям, а также необходимы тестам по обеспечению современных методик.

3. Необходимо своевременное и строгое оформление документации в установленной форме (протоколы периодического контроля, тестовых испытаний, планов облучения и т.п.)

4. Тщательное рассмотрение причин, которые привели к нанесению ущерба здоровью пациента по вине технического персонала учреждения.

К сожалению, что касается технического персонала медицинских учреждений, то защиты от ошибки посредством системы страхования для них не существует.

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

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

ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

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 описано види дозиметричних вимірювань для оцінки якості роботи окремих систем і пристроїв, використовуваних під час опромінювання пацієнтів.

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

Dosimetric accompaniment of high technology radiation therapy. Instruction for use

The contents of prepared guide on high technological radiation dosimetric accompaniment is discussed in scope of application of modern linear electron accelerator. The main attention is paid on dose measurements types for evaluation quality work of separate systems and devices used for patients irradiation.

Key words: radiation therapy, high technology, dosimetric accompaniment.

В Государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова» в рамках Государственной научно-технической программы «Новые технологии диагностики и лечения», подпрограмма «Онкология», выполняется научная тема 03.22. «Разработать и внедрить методологию обеспечения качества лучевой терапии онкологических пациентов при использовании высокотехнологичных методик облучения».

Одним из разделов, выполняемых по теме, является разработка методики дозиметрического сопровождения высокотехнологичной лучевой терапии (ЛТ), итогом которой будут являться инструкции по ее применению.

Инструкция по применению (далее — инструкция) содержит методики дозиметрического сопровождения основных видов высокотехнологичной лучевой терапии (ВЛТ) на современных ускорителях электронов.

К высокотехнологичной ЛТ относятся конформная ЛТ (КЛТ), ЛТ с модулированной интенсивностью

облучения (ЛТМИ), подвижная ЛТ с модулированной интенсивностью излучения (ПЛТМИ), ЛТ под контролем изображений (ЛТКИ), ВЛТ с синхронизацией по дыханию пациентов 4Д, стереотаксическая лучевая терапия (СЛТ) и стереотаксическая лучевая хирургия (СЛХ). Все виды ВЛТ требуют разработки новых клинических технологических протоколов лучевой терапии злокачественных опухолей различных локализаций, а также современных методик контроля качества применяемых ускорителей и дозиметрического сопровождения облучения пациентов.

Инструкция разработана для медицинских физиков и радиационных онкологов учреждений здравоохранения. Методики, изложенные в инструкции, могут быть использованы в онкологических учреждениях здравоохранения, применяющих в клинической практике современные линейные ускорители электронов. Инструкция должна быть утверждена Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Первый раздел инструкции содержит методику абсолютной калибровки мониторных камер линейных ускорителей электронов. Она фактически повторяет методику, изложенную в Коде практики МАГАТЭ № 398, которая является рекомендательной [1]. Изложенная в инструкции методика станет обязательной для применения в лечебных учреждениях Республики Беларусь и отвечает требованиям инспекций «Атомнадзора» и «Санэпидслужбы» Беларуси о применении в радиологических клиниках утвержденного национального руководства.

Второй раздел инструкции содержит правила проведения относительных дозиметрических измерений на линейных ускорителях электронов.

К ним относятся:

- правила установки трехмерных анализаторов дозового поля: центрирование относительно радиационного поля, установка горизонтального положения анализатора, уровня воды и расстояния до него от мишени, выбор, установка и центрирование ионизационной камеры и других типов детекторов фотонного излучения, установка и положение опорного детектора;
- измерение профильных распределений поглощенной дозы по главным осям и диагоналям при вводе ускорителя в эксплуатацию для планирования облучения и в последующем при проведении повторного и периодического контроля и технология их выполнения;
- измерение процентных глубинных распределений дозы при вводе ускорителя в эксплуатацию и для планирования облучения и в последующем при проведении повторного и периодического контроля, а также технология его выполнения;
- измерение коэффициентов радиационного выхода при вводе ускорителя в эксплуатацию для планирования облучения и в последующем при проведении повторного и периодического контроля, а также технология его выполнения.

Особое внимание в инструкции уделяется верификации дозовых распределений. Рассматриваются процедуры:

- верификации плоскостного дозового распределения с использованием дозиметрических пленок;
- верификации плоскостного дозового распределения с использованием двухмерных анализаторов дозового поля;
- верификации плоскостного дозового распределения с использованием электронного детектора порталных изображений (EPID);
- верификации объемного дозового распределения с использованием трехмерных анализаторов дозового поля;
- особенности верификации для стереотаксического облучения.

Современные медицинские ускорители электронов комплектуются дополнительными сложными устройствами и системами, позволяющими реализовывать указанные выше высокотехнологичные методики ЛТ [2]. Поэтому их регулярная дозиметрическая верификация представляет собой важный и необходимый процесс для обеспечения качественного облучения пациентов.

Верификация правильной работы динамических клиньев заключается в измерении их характеристик и внесении полученных данных в системы планирования облучения, а также в периодической проверке достоверности расчета динамических клиновидных распределений дозы.

В настоящее время, пожалуй, главным устройством ускорителей при реализации высоких технологий облучения являются многопластинчатые диафрагмы (МПД). Такие диафрагмы значительно изменили технологический процесс дистанционной ЛТ. Появилась возможность отказаться от использования подвесных платформ, теневых защитных блоков, трехмерных компенсаторов. Наиболее широкое применение диафрагмы нашли в высокотехнологичной ЛТ [20, 88]. Количество пластин диафрагм у разных производителей может варьировать от 80 до 160, причем каждая пластина управляется отдельным электроприводом. Поэтому качество работы диафрагм должно постоянно проверяться техническим обслуживающим персоналом.

При осуществлении IMRT требуется проведение целого ряда контрольных мероприятий и проверок для определения функциональных характеристик МПД. В литературе не предлагается всеобъемлющей методики контроля параметров МПД. Мы выделили ряд наиболее показательных тестов, которые позволяют определять погрешности отдельных параметров, критичных при использовании МПД в динамическом режиме [3–5].

1. Измерение коэффициента пропускания пластин МПД.

Цель: измерение и проверка стабильности коэффициента пропускания пластин МПД в процессе эксплуатации ускорителя.

Принципиальная схема. Измерение ионизационной камерой дозы, создаваемой полем, полностью

закрытым лепестками МПД, по отношению к дозе, создаваемой открытым полем размером 10×10 см.

Реализация. Облучение тестовыми полями ионизационной камеры наперсткового типа объемом $\sim 0,125 \text{ см}^3$ с «колпачком», находящейся на расстоянии 100 см от источника ионизирующего излучения; сравнение с результатом, полученным для открытого поля размером 10×10 см. Коэффициент пропускания (TF) определяется по формуле (1) для поля $10 \times 28 \text{ см}^2$.

$$F = \frac{D_{closedA} + D_{closedB}}{2 * D_{open}},$$

где $D_{closedA}$ — доза под центральной пластиной, полностью закрытой многопластинчатой диафрагмы МПД. Все пластины смещены максимально влево;

$D_{closedB}$ — доза под центральной пластиной, полностью закрытой МПД. Все пластины смещены максимально вправо;

D_{open} — доза под центральной пластиной, полностью открытой МПД.

2. *Определение дозиметрического зазора DLS, связанного с формой пластин МПД.*

Цель: измерение DLS и проверка стабильности его величины в процессе эксплуатации ускорителя.

Принципиальная схема. Измерение ионизационной камерой дозы, создаваемой полями, содержащими пары пластин,двигающихся с постоянной одинаковой скоростью, при разных зазорах между ними (1, 4, 10 и 20 мм). Производится определение величины зазора, необходимого для создания нулевой дозы.

Реализация. Облучение четырьмя тестовыми полями ионизационной камеры наперсткового типа объемом $\sim 0,125 \text{ см}^3$ с «колпачком», находящейся на расстоянии 100 см от источника ионизирующего излучения под одной из центральных пластин. Производится определение величины зазора, необходимого для создания нулевой дозы, путем линейной аппроксимации полученных результатов.

3. *Speed stability test.*

Цель: проверка стабильности скорости, ускорения/торможения пластин МПД.

Принципиальная схема. Все пары пластин двигаются равномерно с семью различными скоростями, создавая 7 различных уровней интенсивности дозы с однородностью в диапазоне $\pm 2\%$ по отношению к открытому полю.

Реализация. Проводится облучение тестовым планом с регистрацией проходного изображения с использованием дозиметрической пленки или EPID. После облучения выполняется визуальный анализ полученного изображения, а также формы профилей дозы.

4. *Garden Fence Test.*

Цель: проверка точности установки заданных позиций пластин МПД.

Принципиальная схема. Все пары пластин двигаются с постоянной скоростью с зазором 1 мм.

В позициях 1, 3, 5, 7 и 9 см происходит остановка на определенное время. На дозиметрической пленке или EPID результат этой проверки будет представлять собой картину из темных эквидистантных прямых линий толщиной 1 мм на однородном светлом фоне.

Реализация. Проводится облучение тестовым планом с регистрацией проходного изображения с использованием дозиметрической пленки или EPID. После облучения выполняется визуальный анализ полученного изображения (линии должны быть прямыми, эквидистантными, с постоянной шириной; фон однородный, светлее линий).

5. *Gravity test.*

Цель: проверка стабильности дозиметрических параметров МПД — полей при различных углах наклона штатива.

Принципиальная схема. Пары пластин,двигающиеся с постоянным зазором, создают равномерную по полю размером 10×10 см интенсивность дозы. Производится сравнение интенсивностей полей облучения при углах наклона штатива 0° , 90° и 270° .

Реализация. Проводится облучение тестовым планом ионизационной камеры наперсткового типа объемом $\sim 0,125 \text{ см}^3$ с «колпачком» (build-up cap) в воздухе, находящейся в изоцентре. Тестовый план состоит из открытых и IMRT-полей при различных углах наклона штатива. Производится сравнение интенсивностей IMRT-полей по отношению к интенсивностям соответствующих открытых полей при различных углах наклона штатива.

6. *Эффект «Tongue-and-Groove».*

Характеризует изменение интенсивности излучения, связанное с формой боковых поверхностей пластин диафрагмы, различной в устройствах разных производителей. Визуально оценивается вклад при контроле лечебных полей перед началом курса лечения пациента.

Осуществление вышеперечисленных проверок ни в коем случае не заменяет и не отменяет проведение проверок, необходимых для статического режима функционирования МПД, таких как определение точности установки размеров радиационного поля, формируемого пластинами МПД, измерение параллельности «блоков» пластин МПД.

Кроме периодических проверок технических характеристик МПД, F. M. Khan предлагает проверять их в процессе клинической эксплуатации, осуществляя своего рода верификацию процесса облучения с акцентом на особенности МПД [6].

Инструкция содержит также технологию проведения относительных измерений дозиметрических характеристик малых полей облучения. Здесь необходимо выбирать детекторы для измерения профильных распределений поглощенной дозы, распределений процентных глубинных доз и измерений коэффициентов радиационного выхода.

В инструкции приводится частота проведения тестов и объем проводимых измерений.

Совершенствование ускорителей электронов происходит стремительными темпами. Появляются

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,