

Семинары были проведены в ноябре 2010 года, в июне и ноябре 2011 года. Всего на семинарах прошли обучение 60 инженеров и физиков Украины.

Распределение слушателей семинаров по городам следующее: Киев – 20; Харьков – 5; Донецк – 6; Николаев – 3; Херсон – 3; Ивано-Франковск – 2; Хмельницкий – 3; Кривой Рог – 3; Львов – 2; Днепропетровск – 2; Ужгород – 2; Черновцы – 1; Симферополь – 1; Полтава – 1; Ровно – 1; Кировоград – 1; Запорожье – 1; Винница – 1; Одесса – 1; Черкассы – 1; Луцк – 1.

По организации слушатели были распределены следующим образом: областные и городские онкологические диспансеры – 36; Киевский национальный институт рака – 4; Харьковский институт медицинской радиологии – 4; Донецкий противоопухолевый центр – 6; Киевский институт нейрохирургии – 2; Киевский университет им. Т. Шевченко – 1; Инспекция ядерного регулирования – 4; Киевская клиническая больница «Феофания» – 1; Киевский научный центр радиационной медицины – 1; Объединение «Изотоп» – 1.

Директором семинаров был назначен ведущий инженер отдела инженерного обеспечения лучевой терапии А.К. Букаго, научным руководителем — доктор технических наук, профессор И.Г. Тарутин.

Преподаватели — профессор И.Г. Тарутин, ведущие инженеры Г.В. Гацкевич, Т.А. Богдани Е.В. Титович, инженеры М.В. Дроздова и Д.И. Козловский, ведущий инженер Гомельского ОКОДВ.Л. Пышняк.

Проживание слушателей, трехразовое питание, перерывы на кофе, доставка слушателей семинаров к месту занятий, на обед и обратно осуществлялись Христианской благотворительной миссией «Каритас», расположенной в поселке Лесковка, неподалеку от места проведения занятий. Мы благодарны миссии за большую помощь в организации успешного проведения семинаров.

Программа была разбита на 2 части: лекции — 22 часа; практические занятия на аппаратах нашего Центра — 18 часов.

На лекциях рассматривались вопросы применения новых аппаратов для проведения предлучевой подготовки и облучения пациентов: ускорителей электронов и протонов, гамма-терапевтических аппаратов для дистанционного и контактного облучения, топометрических томографов и симуляторов. Были прочитаны лекции по организации и проведению контроля качества применяемого оборудования, планированию новых методов облучения, включая IMRT, а также дозиметрических абсолютных и относительных измерений поглощенной дозы в облучаемых объектах.

Практические занятия проводились на аппаратах и системах планирования облучения Центра, они были посвящены дозиметрическому контролю аппаратов лучевой терапии, контролю качества характеристик облучающих аппаратов и демонстрации методов планирования облучения.

Семинары вызвали большой интерес у слушателей. Учитывая пока еще невысокую обеспеченность Украины новой техникой для проведения современной лучевой терапии, слушатели могут теперь информировать руководство своих организаций о перспективных направлениях развития радиологической службы и ее технического обеспечения.

Участникам семинаров были предоставлены на компакт-дисках новые современные материалы по организации контроля качества и протоколы контроля всего оборудования, применяемого в лучевой терапии, рекомендации МАГАТЭ по работе отделений лучевой терапии, дозимет-

рическому контролю отпускаемой пациентам поглощенной дозы, новым подходам в обеспечении радиационной безопасности персонала и радиационной защиты пациентов. Все слушатели получили сборники Белорусских нормативных документов по контролю качества аппаратов и приборов для лучевой терапии.

Семинары, которые проводились в Республике Беларусь для специалистов другой страны, не имеют аналогов в странах бывшего СССР, что свидетельствует о высоком авторитете, который имеют в СНГ белорусская лучевая терапия и ее физико-техническое обеспечение. Семинары очень понравились слушателям и вызвали их отличные отзывы об организации занятий и проживании в миссии «Каритас». В будущем предполагается проведение подобных семинаров для технических специалистов из других стран СНГ.

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

ГУ «РНЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова», Минск, Беларусь

Техническая и дозиметрическая поддержка методики IMRT

Technical and dosimetric assistance of IMRT technique

Summary. A short overview of techniques of quality assurance of the work of electron accelerator at irradiation with modulation of photon radiation intensity is given. The value of monitor unit, symmetry and uniformity of radiation field are checked at various angles to gantry rotation. The frequency of check-up of the above parameters is proposed.

Key words: radiation therapy, accelerator, quality assurance, IMRT.

Резюме. Наведено короткий зміст методик контролю якості роботи систем прискорювача електронів при використанні методу опромінення з модуляцією інтенсивності фотонного випромінювання. Перевіряються ціна моніторної одиниці, симетрія і рівномірність радіаційного поля під різними кутами повороту гентрі. Пропонується періодичність перевірки зазначених характеристик.

Ключові слова: променева терапія, прискорювач, контроль якості, IMRT.

Ключевые слова: лучевая терапия, ускоритель, контроль качества, IMRT.

Техническая и дозиметрическая поддержка методики лучевой терапии с модуляцией интенсивности IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy) должна обеспечить необходимый контроль технических параметров ускорителя и дозиметрических характеристик пучка излучения и тем самым гарантировать качественную реализацию индивидуальных планов лечения пациентов по методике IMRT. Кроме этого программой поддержки предусматривается верификация планов облучения конкретных пациентов с помощью фантомов.

Для обеспечения сеансов радиотерапии с модуляцией интенсивности дозы (IMRT) требуется регулярный мониторинг параметров:

- пучка излучения;
- энергии излучения;
- цены мониторной единицы;
- равномерности радиационного поля;
- симметрии радиационного поля.

динамической многолепестковой диафрагмы (dMLC), стабильности:

позиционирования лепестков;
 скорости движения лепестков;
 ускорения и торможения лепестков;
 дозиметрических параметров по отношению к геометрии поля.

Значения величин допустимых отклонений и периодичности контроля вышеперечисленных параметров приведены в таблице.

Цена мониторной единицы, симметрия и равномерность радиационного поля могут проверяться ежедневно при наличии прибора, одновременно измеряющего все эти величины (например, Double Check model 7200 фирмы VICTOREEN (США) или аналогичных).

Описание методик контроля

Методики контроля цены мониторной единицы, симметрии и равномерности радиационного поля подробно изложены в инструкции по применению «Контроль качества медицинских ускорителей электронов», утвержденной Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Garden Fence Test

Цель: проверка позиционирования лепестков MLC

Принципиальная схема

Все пары лепестков двигаются с постоянной скоростью и постоянным зазором между противоположащими лепестками 1 мм, создавая равномерный дозовый фон. Каждая пара лепестков останавливается в одинаковых позициях на определенное количество времени и затем продолжает движение, создавая, таким образом, линии с увеличенной дозой. На дозиметрической пленке или на изображении, полученном системой EPID, этот тест создает картину из темных эквидистантных прямых линий толщиной 1 мм на однородном светлом фоне.

Реализация

Облучение тестовым планом фантома IMRT_film_ph (фантом состоит из рентгеновской пленки и семи пластиковых водозэквивалентных пластин толщиной 1 см каждая). Три пластины располагаются над пленкой, четыре — под или EPID. После облучения проводится визуальный анализ полученного изображения (линии должны быть прямыми, эквидистантными, с постоянной шириной; фон — однородным, светлее линий).

Контроль параметров, отвечающих за качество динамического облучения

Параметр		Тест	Допустимое отклонение	Периодичность проведения контрольных мероприятий
Линейный ускоритель	Цена мониторной единицы	Прямое измерение	< 2 % *	Ежедневно
	Энергия пучка излучения	То же	< 1 %**	1 раз в год** при проведении плановых профилактических работ
	Симметрия радиационного поля	То же	< 3 %**	при проведении плановых профилактических работ
	Равномерность радиационного поля	То же	< 3 %**	1 раз в квартал** при проведении плановых профилактических работ
dMLC	Стабильность позиционирования лепестков MLC	Garden fence test	Визуальное сравнение с контрольным изображением	Ежедневно
	Стабильность скорости движения лепестков MLC	Speed stability test	То же	Ежемесячно
	Стабильность ускорения/торможения лепестков MLC	То же	То же	То же
	Стабильность дозиметрических параметров MLC-полей при различных положениях (углах) гентри	Gravity test	< 1 %	То же
	DLS-зазор и коэффициент пропускания лепестков MLC	Прямое измерение дозиметрического зазора и коэффициента пропускания лепестков	< 1 %	1 раз в квартал при проведении плановых профилактических работ

Примечания: * Точность настройки цены мониторной единицы зависит от величины погрешности измерения дозы клиническим дозиметром. Величина погрешности измерения имеющихся в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова клинических дозиметров (согласно свидетельствам о поверке) не превышает 2 %. Измерение может проводиться при помощи различных приборов ежедневного контроля дозиметрических параметров пучка с последующим сравнением с референтной величиной, полученной после измерения и/или калибровки цены мониторной единицы при помощи ионизационной камеры большого объема.

** Допустимые отклонения и периодичность контроля параметров приведены согласно инструкции по применению «Контроль качества медицинских ускорителей электронов», утвержденной Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Speed Stability Test

Цель: проверка стабильности скорости, ускорения/торможения лепестков MLC.

Принципиальная схема

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

Реализация

Облучение проводят тестовым планом фантома IMRT_film_ph или EPID, после чего проводятся визуальный анализ полученного изображения, анализ формы профилей дозы.

Gravity Test

Цель: проверка стабильности дозиметрических параметров MLC-полей при различных положениях (углах наклона) гентри.

Принципиальная схема

Пары лепестков, движущиеся с постоянным зазором, создают интенсивность дозы, равномерную по полю размером $10 \times 10 \text{ см}^2$. Производится сравнение интенсивностей полей в положениях гентри 0° , 90° и 270° .

Реализация

Облучение тестовым планом ионизационной камеры объемом $0,125 \text{ см}^3$ с «колпачком» (build-up cap) в воздухе, находящейся в изоцентре. Тестовый план состоит из открытых статических полей и равномерных IMRT-полей в различных положениях гентри. Производится сравнение интенсивностей IMRT-полей по отношению к интенсивностям соответствующих открытых полей при различных углах поворота гентри путем измерения дозы в точке.

Измерение DLS

Цель: измерение DLS (dosimetric leaf separation) и проверка стабильности его величины в процессе эксплуатации ускорителя.

Принципиальная схема

Измерение ионизационной камерой дозы, создаваемой полями, содержащими пары лепестков, двигающихся с постоянной одинаковой скоростью, но с разными зазорами. Производится определение величины зазора, необходимого для создания нулевой дозы.

Реализация

Облучение тестовыми полями ионизационной камеры объемом $0,125 \text{ см}^3$ с «колпачком», находящейся на расстоянии 100 сантиметров от источника ионизирующего излучения в воздухе под центром одного из центральных лепестков. Производится аппроксимация полученных результатов линейной зависимостью, что позволяет определить DLS.

Измерение коэффициента пропускания лепестков

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

Принципиальная схема

Измерение ионизационной камерой дозы, создаваемой полем, полностью закрытым лепестками MLC, по отношению к дозе, создаваемой открытым полем размером $10 \times 10 \text{ см}^2$.

Реализация

Облучение тестовым полем ионизационной камеры объемом $0,125 \text{ см}^3$ с «колпачком», находящейся на расстоянии 100 сантиметров от источника ионизирующего излучения в воздухе, сравнение с результатом, полученным для открытого поля размером $10 \times 10 \text{ см}^2$.

Процедура верификации лечебного плана пациента

Процедуры, предшествующие первой укладке

Верификация лечебных полей с использованием EPID

Производится создание верификационных планов для EPID в планирующей системе «Eclipse» с использованием алгоритма предсказания портальной дозы (PDIP). Верификационные планы одобряются для облучения физиком, проводящим верификацию, и запускаются на ускорителе. Производится сравнение рассчитанных и полученных распределений дозы в системе Eclipse. Основным методом оценки служит гамма-индексирование (процент точек с гамма-индексом > 1 при различных значениях параметров индексации). Производится также сравнение профильных распределений дозы и значений доз в отдельных точках.

При обнаружении серьезных расхождений между спланированными и полученными на ускорителе распределениями дозы производится верификация с использованием матричного анализатора 2D Array или дозиметрической пленки.

Верификация с использованием матричного анализатора 2D Array

В планирующей системе создаются верификационные планы для твердотельного гомогенного водозэквивалентного фантома RW3 (тип T29672, фирмы PTW Freiburg). Матрица анализатора 2D Array (на 729 детекторов) устанавливается в фантоме в плоскости рассчитанного дозового поля. Сверху над матрицей располагают 3 пластины фантома для создания build-up области толщиной 3 сантиметра; снизу — 4 пластины для учета обратного рассеяния. Одобренные физиком, ответственным за верификацию, планы передают для облучения на ускоритель.

После облучения производится сравнение рассчитанных и полученных распределений дозы в программе Verisoft. Основным методом оценки служит гамма-индексирование (процент точек с гамма-индексом > 1 при различных значениях параметров индексации). Также производится сравнение профильных распределений дозы и доз в отдельных точках.

Перед облучением фантома производится абсолютная калибровка матричного анализатора 2D Array.

Для этого фантом RW3 с установленной в нем матрицей 2D Array облучается калибровочным IMRT-полем фотонного излучения используемой энергии размером $10 \times 10 \text{ см}^2$ с известным количеством мониторинговых единиц. Путем сравнения полученного распределения дозы с рассчитанным находится калибровочный коэффициент, который впоследствии используется при анализе верификационных IMRT-полей.

Верификация с использованием дозиметрической пленки

В планирующей системе создаются верификационные планы для твердотельного гомогенного водозэквивалентного фантома RW3 (тип T29672, фирмы PTW Freiburg). Конверт с пленкой типа X-Omat V устанавливается в фантоме в плоскости рассчитанного дозового поля. Сверху над пленкой располагают 3 пластины фантома; снизу — 4 пластины. Одобренные физиком, ответственным за верификацию, планы передают для облучения на ускоритель.

После облучения производится сравнение рассчитанных и полученных на пленке распределений дозы в программе Verisoft. Основным методом оценки служит гамма-индексирование (процент точек с гамма-индексом > 1 при различных значениях параметров индексации).

Для получения абсолютных значений дозы в различных точках верификационного плана по уровню почернения

пленки (данного типу) необхідно мати калібровочну криву. Для отримання такої залежності конверт з плівкою, встановленою в фантомі як було описано вище, облучається одним ІМРТ-полем, що створює вісім областей з різними заданими рівнями величини дози. Після проявки і сканування калібровочної плівки отримане зображення передається в програму Verisoft. В даній програмі для кожної з вісьми областей визначаються численні значення рівнів почернення плівки. Кожному з цих значень відповідає відоме (задане) значення поглищеної дози. Отримане залежність (калібровочна крива) використовується для отримання абсолютного розподілу дози з плівок, облучених лікувальними полями.

¹Н.В. Тюєва, ²Л.П. Антонова, ²В.Т. Стоян,
²С.П. Дідорчук

¹Одеський національний медичний університет,

²Одеський обласний онкологічний диспансер

Комплексний моніторинг резорбції пухлин шийки матки протягом поєднаної променевої терапії

Complex monitoring of cervical tumor resorption during combination radiation therapy

Summary. Complex ultrasound examination with Doppler investigation was performed in 48 patients with stage II–III cervical cancer during radiation therapy including brachytherapy with Co-60 source and high dose rate with MultiSource unit. Complex monitoring allows to assess objectively the tumor response and predetermines optimizing dose-time ratio of the components of combination radiation therapy.

Key words: local cervical cancer, brachytherapy with high dose rate, tumor response monitoring, ultrasound examination, treatment optimizing.

Резюме. Выполнено комплексное УЗИ с доплерометрией 48 больных раком шейки матки II–III стадии в динамике в ходе лучевой терапии, включавшей брахитерапию источником Co-60 с высокой мощностью дозы на аппарате MultiSource. Комплексный мониторинг позволяет объективно оценить опухолевый ответ и создает предпосылки для оптимизации дозно-временного соотношения компонентов сочетанной лучевой терапии.

Ключевые слова: местнораспространенный рак шейки матки, брахитерапия с высокой мощностью дозы, мониторинг ответа опухоли, ультразвуковое исследование, оптимизация лечения.

Ключові слова: місцевопоширений рак шийки матки, брахитерапія з високою потужністю дози, моніторинг пухлинної відповіді, ультразвукове дослідження, оптимізація лікування.

Упровадження сучасних методик дистанційної та контактної (зокрема, з високою активністю джерела) променевої терапії раку шийки матки (РШМ) потребує ретельного вимірювання об'єму та меж пухлини до початку і в процесі лікування з метою складання та корекції лікувального плану. Останніми роками з цією метою успішно використовуються КТ, МРТ, за наявності — ПЕТ–КТ [1, 2]. Поряд з цим, доступним та безпечним методом оцінки особливостей зростання пухлини та її регресу протягом лікування залишається ультразвукове дослідження (УЗД) [3, 4]. Розвиток пухлини в організмі супроводжується організацією мікро-

циркуляторного русла, вираженість якого корелює зі швидкістю її зростання та ступенем злоякісності [5].

Метою нашої роботи була оцінка інформативності УЗД з кольоровим (КДК) та енергетичним доплерівським картуванням (ЕДК) в оцінці об'єму, особливостей поширення, неоангіоархітекτονіки та регресії пухлини протягом поєднаної променевої терапії (ППТ) у хворих на РШМ ІІ–ІІІ стадії.

Рутинне бімануальне обстеження та комплексне УЗД проведено 48 жінкам, хворим на плоскоклітинний РШМ ІІ–ІІІ стадії, до початку ППТ, після досягнення СОД від телегамматерапії (ТГТ) 30 Гр, наприкінці лікування та через 1 місяць. У режимі сірої шкали вивчали розміри пухлини, інфільтрацію параметральної клітковини, стан регіонарних лімфатичних вузлів. За допомогою ультразвукової ангіографії оцінювали неоангіоархітекτονіку, тип та гемодинамічні параметри кровотоку: максимальну систолічну швидкість (МСШ), діастолічну швидкість, індекс резистентності (ІР) та пульсаційний індекс (РІ) у судинах шийки матки. Ультразвукове дослідження проводили на цифровому ультразвуковому сканері Siemens Sonoline G50 с конвексним багаточастотним датчиком 2,5–5,0 МГц.

Всі хворі отримували дистанційну променево-терапію на апараті Teragam: спочатку рівномірне опромінення таза РОД 2 Гр, СОД 20–40 Гр, після досягнення оптимальних умов для брахитерапії (достатньої резорбції пухлини згідно з даними комплексного обстеження) починали контактне опромінення на апараті MultiSource з джерелом високої потужності дози Co-60, РОД 5,5–7,0 Гр, яке проводили 1 раз на тиждень, продовжуючи дистанційне опромінення параметральної клітковини і заочеревинних лімфовузлів з 4 полів або в режимі ротації до СОД 44–50 Гр на т. В залежно від стадії. Сумарні ізоефективні дози обчислювались за лінійно-квадратичною моделлю і склали 80–85 Гр на т. А, 50–56 Гр — на т. В [2].

Оцінка ефективності проведеного лікування (резорбції пухлини) (таблиця 1) полягала в оцінці змін величин топографічних показників розмірів та об'єму шийки матки, показників артеріальної гемодинаміки в маткових артеріях, якісних параметрів кровотоку в пухлині за такою градацією: повна регресія — зникнення всіх ознак пухлинного процесу;

часткова регресія — 50% чи більше зменшення об'єму шийки матки за відсутності прогресування інших осередків, зниження МСШ на 35% та більше, збільшення ІР при зменшенні РІ;

стабілізація — зменшення об'єму шийки матки менш ніж на 50% за відсутності нових уражень чи збільшення не більше як на 25%, зниження МСШ до менше 35% від первинної, незмінність ІР при незмінності чи зменшенні РІ.

прогресування — більше чи рівне 25% збільшення розмірів шийки матки чи поява нових уражень, збільшення МСШ більш як на 35%, зменшення ІР при збільшеному чи незмінному РІ.

За результатами проведеного дослідження в усіх пацієнток у В-режимі було виявлено утворі зі зниженою ехогенністю, що виходив із строми шийки матки зі поширенням на її тіло в 11 пацієнток (22,6%) чи піхву — у 24 жінок (50%). У 40 хворих (83,6%) відмічено інфільтрацію параметріїв. Дані УЗД в цілому збігалися з результатами дворучного обстеження, але у 20 хворих (42%) при УЗД в режимі сірої шкали параметральна інфільтрація видавалася меншою, ніж при огляді, або не виявлялася взагалі. При ЕДК у всіх хворих визначався осередок локальної неоваскуляризації дезорганізованого типу — у 12 (25%) пацієнток встановлено рясний тип, у 30 (62,5%) — середній, у 6 (12,5%) — бідний. Об'єм пухлини до початку лікування варіював від 76,2