4. Шаназаров, Н. А. Рак желудка: учеб. пособ. /под ред. профессора Важенина А.В. – Челябинск, 2001. – 30 с.
5. Зотов, П. Б. Коррекция синдрома эндогенной интоксикации и нарушений иммунитета у больных распространенным раком / П.Б. Зотов, Л.Ф. Чернецова // Журнал Вестник ТГУ. – 2004. – № 2. – 142 с.
6. Банзаракшеев, В. Г. Лейкоцитарные индексы как способ оценки эндогенной интоксикации организма / В.Г. Банзаракшеев // Бюллетень ВСНЦ. – 2010. – № 3. – С. 390–391.

ПЕРВЫЕ ПРОТОКОЛЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

FIRST DOSIMETRY PLANNING PROTOCOLS FOR PROSTATE CANCER EXPOSURE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

М. Н. Петкевич, А. И. Макарова
M. Piatkevich, N. Makarava

*Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии
им. Н.Н. Александрова, г. Минск, Республика Беларусь
MaxPetkevichN@gmail.com
N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

С целью обеспечения высококачественной лучевой терапии, в Республиканском научно-практическом центре онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова группой медицинских физиков разработаны первые в Беларуси локальные протоколы для дозиметрического планирования рака предстательной железы. Протоколы содержат практические, обоснованные рекомендации при планировании облучения пациентов, страдающих раком предстательной железы с применением современных линейных ускорителей электронов, основанные на многолетнем клиническом опыте работы квалифицированных медицинских физиков.

In order to provide high-quality radiation therapy at the Republican Scientific Practical Center of Oncology and Medical Radiology, a group of medical physicists developed the first local protocols in Belarus for radiotherapy treatment planning of prostate cancer patients. The protocols contain grounded practice-oriented recommendations based on the long-term clinical experience of qualified medical physicists in treating patients with prostate cancer for irradiation using modern linear accelerators.

Ключевые слова: лучевая терапия, рак предстательной железы, протоколы дозиметрического планирования, медицинский физик, методики облучения.

Keywords: radiation therapy, prostate cancer, dosimetry planning protocols, medical physicist, radiation techniques.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-234-237>

В работах [1] и [2] авторами показана необходимость в разработке рекомендаций, описывающих алгоритмы действий медицинского физика при проведении всех этапов инженерно-физического обеспечения дистанционной лучевой терапии (далее – ЛТ), процедур контроля качества доставки запланированной дозы излучения, подходы к обоснованному выбору методики облучения, критерии оценки дозового покрытия объемов облучения и дозовых нагрузок на органы риска и нормальные ткани. Целью настоящей работы является разработка протоколов дозиметрического планирования облучения рака предстательной железы на медицинских линейных ускорителях электронов (далее – ЛУЭ), направленных на повышение качества лечебного процесса, оптимизацию работы медицинского физика и уменьшение времени нежелательного нахождения персонала и пациентов в сфере ионизирующего излучения.

Рост заболеваемости злокачественными новообразованиями наблюдается в большинстве стран мира. Среди онкологических заболеваний первым по частоте в 2018 году у мужчин занимает рак предстательной железы (далее – РПЖ) (21%). Отношение смертности к заболеваемости согласно данным канцер-регистра в Республике Беларусь 18,8% – это средний показатель по странам [3].

Лучевая терапия является на сегодняшний день одним из ведущих методов лечения рака предстательной железы. Благодаря развитию радиотерапевтической техники и совершенствованию методик лучевой терапии, появилась возможность применять схемы лечения с высокой суммарной очаговой дозой излучения и минимальной дозовой нагрузкой на здоровые окружающие ткани и органы.

Лучевая терапия – это сложный многоэтапный процесс, в котором принимает участие целый ряд специалистов. В Республике Беларусь к таким специалистам относятся радиационные онкологи, врачи-диагносты, медицинские физики, рентген-лаборанты и медицинские сестры. Качество лучевого лечения зависит от ряда взаимосвязанных операций, выполняемых этими специалистами: соблюдения рекомендаций по подготовке пациента к лучевому лечению, фиксации пациента, способа внесения объемов облучения и критических структур, выбора

методики лучевого лечения, подхода к оценке дозиметрических параметров плана облучения, выполнения проверки соответствия дозового распределения на ЛУЭ полученного на системе планирования облучения, соблюдения мер по реализации запланированных условий облучения от сеанса к сеансу на протяжении всего курса ЛТ, а также своевременного выполнения регламентных процедур по контролю качества работы радиотерапевтического оборудования. Для обеспечения эффективной и безопасной реализации всех процедур ЛТ появилась необходимость в разработке нормативной документации, регламентирующей действия каждого из перечисленного специалиста и направленной на принятие верных решений в определенных клинических ситуациях. В РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова при поддержке экспертов международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ) ведется разработка рекомендаций по проведению лучевого лечения и рекомендаций по дозиметрическому планированию ЛТ. На сегодняшний день разработаны и утверждены первые локальные протоколы по дозиметрическому планированию облучения рака предстательной железы, регламентирующие действия сотрудников отдела по инженерному обеспечению лучевой терапии.

Дозиметрическое планирование облучения – это один из основных этапов лучевой терапии, который включает в себя определение характеристик пучков ионизирующего излучения, выбор методики облучения, оценку дозиметрических параметров плана лучевого лечения, проверку соответствия дозового распределения на ЛУЭ полученного на системе планирования облучения [2]. Подходы, применяемые при выполнении каждого из этапов, напрямую влияют на качество проводимой лучевой терапии пациенту.

Авторами были проанализированы существующие зарубежные нормативно-регламентирующие документы по планированию лучевого лечения и предложена структура протокола, адаптированная к региональным особенностям лучевой терапии. Протокол включает описание анатомии локализации, ее компьютерную визуализацию, физико-технические указания и требования к планированию облучения, в том числе позиционирование пациента, включая его иммобилизацию, конфигурацию углов пучков облучения, методы обратной оптимизации дозиметрического планирования и методы анализа, и оценки планов облучения пациентов дистанционной лучевой терапии.

Предлучевая подготовка пациента начинается с получения объемной анатомической информации о пациенте (компьютерной (далее – КТ) и магнитно-резонансной томографии (далее – МРТ)). Больному проводят исследование с комфортным наполнением мочевого пузыря и пустой прямой кишкой. Одним из примеров наполнения мочевого пузыря является следующая схема: за 30 минут до КТ-симуляции рекомендуется опорожнить полностью мочевой пузырь, затем выпить 2 стакана воды для его умеренного наполнения во время исследований КТ- и МР-топометрии, которая будет воспроизводиться во время всех сеансов лучевой терапии. Пациенту может быть предложена диета, рекомендован прием медицинских препаратов, снижающих газообразование в кишечнике. Пациента укладывают головой к аппарату, лежа на спине, руки комфортно скрещены на груди, могут быть использованы специальные иммобилизирующие приспособления, например, подколенники и фиксаторы стоп, вакуумные матрасы для улучшения точности воспроизводимости и комфортного положения пациента [4].

Полученные КТ- и МР-исследования передаются на систему планирования облучения, где радиационный онколог согласно соответствующему лечебному протоколу на диагностических изображениях определяет объемы мишени и создает все необходимые структуры. В случае подготовки пациента, страдающего РПЖ – это сама простата (далее – GTV), клинический объем мишени (далее – CTV), планируемый объем мишени (далее – PTV), мочевой пузырь, прямая кишка, луковица полового члена, костные структуры, тазобедренные суставы, контур тела и др.

В протоколе описаны три методики дозиметрического планирования РПЖ: 3Д КЛТ – трехмерная конформная лучевая терапия, ЛТМИ – лучевая терапия с модуляцией интенсивности, СЛТМИ – секторная лучевая терапия с объемной модуляцией интенсивности. Выбор методики облучения обусловлен анатомическими особенностями пациента, видом оказания медицинской помощи, аппаратным оснащением радиологического отделения, наличием соответствующего квалифицированного персонала, временем облучения и предъявляемых требований к дозовым нагрузкам на здоровые органы и ткани в каждом отдельном клиническом случае.

В случае создания плана по методике 3Д КЛТ в рекомендациях показаны способы расположения пучков ионизирующего излучения, примеры их формирования (рисунок 1а), расстановка весовых коэффициентов для каждого поля облучения, показаны случаи применения клиновидных фильтров:

- трехпольные 3Д КЛТ методика: 1) 0° , 90° , и 270° (рисунок 1б); 2) 0° , 105° , и 255° ;
- четырехпольная 3Д КЛТ методика: 0° , 90° , 180° и 270° (рисунок 1с);
- пятипольная 3Д КЛТ методика: 0° , 45° , 90° , 270° , 315° , (рисунок 1д);
- шестипольная методика;
- способ расстановки полей с ручной модуляцией интенсивности.

При планировании по методикам 3Д КЛТ описана возможность использования клиновидных фильтров и расстановки различных весовых коэффициентов для достижения критерий покрытия объемов PTV и CTV и уменьшения дозовых нагрузок на критические органы.

В случае применения высокотехнологичных методик планирования облучения ЛТМИ и СЛТМИ рекомендации включают: способы расположения пучков ионизирующего излучения, примеры их формирования, перечень необходимых дополнительных структур для планирования; способы определения пределов дозовых нагрузок и управления многоэтапным процессом оптимизации обратного планирования для достижения максимального дозового покрытия мишени и минимизации воздействия ионизирующего излучения на окружающие здоровые ткани и органы.

Рисунок 1 – Способы расположения пучков ионизирующего излучения: а) пример формирования границ поля облучения; б) 3 поля облучения; в) 4 поля облучения; д) 5 полей облучения

Одним из наиболее распространенных примеров дозиметрического планирования РПЖ методикой ЛТМИ является семипольный план облучения, состоящий из 7 равноудаленных друг от друга пучков ионизирующего излучения (рисунок 2а). Также описаны примеры пяти- и девятипольных планов облучения в случаях, когда пациент худощавого телосложения либо имеет избыточный вес соответственно. Получение равномерного распределения дозы ионизирующего излучения по объему облучения и быстрого воспроизведения дозиметрического плана на ЛУЭ достигается применением методики СЛТМИ. В рекомендациях рассмотрен план облучения РПЖ, состоящий из двух полных оборотов штатива ЛУЭ по часовой и против часовой стрелки с поворотом коллиматора от 30° до 50° (рисунок 2б). В случае облучения РПЖ большого объема может быть использован план с тремя оборотами штатива ЛУЭ – к двум вышеуказанным добавлен оборот штатива с поворотом коллиматора 90° . Поворот коллиматора необходим для исключения скопления в одном месте дозы излучения, проходящей между лепестками многолепесткового коллиматора (МЛК) [5].

Авторы обратили особое внимание на случаи лучевого лечения пациентов, страдающих РПЖ с протезированными тазобедренными суставами. Материал протезов имеет плотность, намного превышающую плотность костных структур человека из-за чего применение стандартных подходов становится нецелесообразным, в связи с возникновением дополнительной погрешности в воспроизведении плана лучевого лечения на ЛУЭ. В таких случаях план облучения не должен состоять из пучков ионизирующего излучения, проходящих через протезы. Наиболее подходящим является план облучения, рассчитанный по методике СЛТМИ с исключёнными секторами в полях ротационного облучения, проходящими через протезы [5].

Рисунок 2 – Примеры высокотехнологичных методик планирования облучения РПЖ: а – методом ЛТМИ, б – методом СЛТМИ.

Завершающим этапом планирования облучения является оценка дозиметрических параметров плана лучевого лечения. Используя гистограмму доза-объем, медицинский физик производит количественный анализ дозовых нагрузок на критические органы с учетом вероятности их повреждения согласно шкалам RTOG (радиологическая онкологическая группа) и QUANTEC (количественный анализ повреждений здоровых органов и тканей при

проведении лучевой терапии злокачественных новообразований) и оценку дозового покрытия объемов PTV согласно международным критериям оценки (99% объема PTV покрывается 90% от предписанной дозы, 95% 95%) (рисунок 3). Визуальная оценка дозового распределения производится по каждому срезу на трансверсальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях диагностических изображений (рисунок 3).

Рисунок 3 – Распределение изодозовых кривых на трансверсальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях диагностических изображений, гистограмма доза-объем.

После одобрения лечебного плана и выполнения проверки соответствия дозового распределения на ЛУЭ полученного на системе планирования облучения пациент начинает курс лучевой терапии.

Разработка и внедрение нормативно-регламентирующей документации медицинского персонала позволяет эффективно и безопасно реализовать все процедуры предлучевой подготовки и лучевого лечения пациента, повысить качество лечебного процесса, оптимизировать работу специалистов и уменьшить время нежелательного нахождения персонала и пациентов в сфере ионизирующего излучения. Внедрение в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александро́ва протоколов дозиметрического планирования РПЖ позволило оптимизировать систематический подход на всех этапах проведения лучевой терапии, регламентировать все технические и физические аспекты планирования и облучения пациента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Development of methodical recommendations for the establishment of physical and technical support for external radiation therapy procedures: papers from IX International Scientific Conference for Young Scientists, Graduates, Master and PhD Students «Actual Environmental Problems», Minsk, 21–22 Nov. 2019 / ISEI BSU; ed.: M. Piatkevich [et al.]: ISEI BSU, 2019. – 197 p.
2. Development of methodical recommendations regulating the selection of external beam radiation therapy technique and parameters of treatment planning: papers from IX International Scientific Conference for Young Scientists, Graduates, Master and PhD Students «Actual Environmental Problems», Minsk, 21–22 Nov. 2019 / ISEI BSU; ed.: M. Piatkevich [et al.]: ISEI BSU, 2019. – 198 p.
3. Океанов, А. И. Рак в Беларуси: цифры и факты. Анализ данных Белорусского канцер-регистра за 2009 - 2018гг./ Океанов А.Е. и др.; под ред. Суконко О.Г.// Минск: Национальная библиотека Беларуси, 2019. – 422 с.
4. Митин, Т. Краткие методические рекомендации по лучевой терапии рака предстательной железы: предлучевая подготовка, оконтуривание, принципы планирования / Митин Т. и др.// ООО «Медскан», Москва, 2017. – 56с.
5. Xia Ping, Godley Andrew et al. (eds.) Strategies for radiation therapy treatment planning. Demos Medical Publishing, 2019. – 319 p.

ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДОЗИМЕТРИИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ В ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

DETECTORS FOR RELATIVE DOSIMETRY OF RADIATION FIELDS OF SMALL SIZE IN THE REMOTE RADIATION THERAPY

В. С. Пискунов

V. Piskunov

*Учреждение здравоохранения «Витебский областной клинический онкологический диспансер»,
г. Витебск, Республика Беларусь
Valery.pvs@mail.ru*

*Healthcare Institution «Vitebsk Regional Clinical Oncology dispensary»,
Vitebsk, Republic of Belarus*

При выборе оборудования для относительной дозиметрии малых полей нужно учитывать такие особенности, как необходимость использования детекторов с малым объемом, возможность измерения с высоким пространственным разрешением и необходимость преодоления проблем позиционирования детектора. Идеальный детектор для дозиметрии малых полей измеряет поток в точке, является эквивалентным воде и имеет линейный отклик, который не зависит от энергии и от мощности поглощенной дозы. Выбор наиболее подходящих детекторов для конкретного типа измерения производится исходя из измеряемого параметра. Поскольку идеального детектора не существует, рекомендуется использовать два или три различных типов детекторов, подходящих для конкретного измерения, чтобы удостовериться в том, что не допускаются никакие существенные ошибки.

When choosing equipment for relative dosimetry of small fields, it is necessary to take into account such features as the need for detectors with a small volume, the ability to measure with high spatial resolution, and the need to overcome the problems of detector positioning. The ideal detector for small field dosimetry measures the fluence at a point, and is equivalent to water, and has a linear response, which is independent of energy and the absorbed dose rate. The choice of the most appropriate detectors for the specific type of measurement is made according to the parameter being measured. Since the ideal detector does not exist, it is recommended to use two or three different types of detectors that are suitable for a particular measurement to ensure that no significant errors are made.

Ключевые слова: ионизационная камера, кремниевый диод, алмазный детектор, рентгенографическая пленка, термолуминесцентный дозиметр.

Keywords: ionization chamber, silicon diode, diamond detector, radiographic film, thermoluminescent dosimeter.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-238-241>

Ионизационные камеры часто не подходят для измерений при присутствии высоких градиентов поглощенной дозы. Усреднение объема и существенные возмущения при отсутствии латерального равновесия заряженных частиц ставят под сомнение их использование для дозиметрии малых фотонных полей.

Относительная дозиметрия малых полей часто включает в себя определение процентно-глубинной дозы по центральной оси пучка, определение отношений ткань-фантом или ткань-максимум, латеральных профилей пучка и факторов выхода поля в зависимости от размера и формы поля. Для определения факторов выхода эффект усреднения по объему может быть ограничивающим фактором при выборе детектора. Для экспериментального определения профилей пучка важными параметрами являются пространственное разрешение детектора, зависимость от направления пучка, зависимость от энергии и мощности поглощенной дозы. Эффекты усреднения по объему и свойства материала детектора влияют на измерение полутени пучка. Неравномерный отклик детектора при изменении направления пучка может привести к искажению формы измеряемого профиля.

Эффекты возмущения флюенса и эффекты, связанные с размером детектора вместе с проблемами позиционирования являются наиболее важными проблемами, с которыми сталкиваются почти во всех дозиметрических системах, используемых для измерений в малых фотонных пучках. Общие характеристики подходящих детекторов для дозиметрии малых полей приведены в таблице.

Для каждой ионизационной камеры всегда будет существовать размер поля, меньше которого усреднение по объему становится неприемлемо большим. Детектор генерирует сигнал, который пропорционален средней поглощенной дозе в его чувствительном объеме, и на этот сигнал влияет однородность поглощенной дозы в объеме детектирования (усреднение по объему). Этот эффект в малом поле показан на рисунке.

Для дозиметрии полей с меньшим размером подходят только жидкостные ионизационные камеры или твердотельные детекторы. Выбор детектора крайне важен при дозиметрии малых полей. Нет идеального детектора, его выбор зависит от конкретных условий измерений.