

ДОЗИМЕТРИЯ МАЛЫХ ПОЛЕЙ В ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

SMALL FIELD DOSIMETRY IN EXTERNAL BEAM RADIATION THERAPY

В. В. Лойко, М. С. Майорова
V. Loika, M. Mayorava

*Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии
им. Н.Н. Александрова, г. Минск, Республика Беларусь
Viktarloika91@gmail.com*

N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Современная медицина при помощи диагностического оборудования позволяет выявить онкологические заболевания на ранних стадиях и разработать оптимальную стратегию лечения пациентов. Рентгеновская компьютерная или магнитно-резонансная томография даёт чёткие изображения, по которым можно определить распространённость и локализацию опухолевого процесса, а также оценить размеры новообразований и границу между опухолью и здоровыми тканями, что позволяет подвести высокую дозу облучения в опухоль минимизируя нагрузку на критические структуры. Уменьшение размеров мишеней и увеличение подводимой дозы подразумевает новые подходы в дозиметрии для дистанционной лучевой терапии. Изучение и внедрение в практику в отделении лучевой терапии РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова Серии технических докладов ВОЗ № 483 (Дозиметрия малых статических полей при дистанционной лучевой терапии: Международные практические рекомендации по дозиметрии, основанные на эталонах единицы поглощенной дозы в воде) позволило улучшить гарантию качества лучевой терапии и стереотаксической радиохирургии.

Modern medicine uses diagnostic equipment to detect cancer at early stages and to develop an optimal strategy for treating patients. X-ray computed tomography or magnetic resonance imaging provides sharp images that can determine the prevalence and localization of the tumor process, as well as assess the size of tumors and the border between the tumor and healthy tissues, which allows to deliver a high dose of radiation to the tumor and to minimize the load on critical structures. Reducing the size of targets and increasing radiation dose implies new approaches in dosimetry to remote radiation therapy. Study and implementation a Technical Reports Series No. 483 (Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Reference and Relative Dose Determination) in practice in radiotherapy department of N. N. Alexandrov NCCB has improved the quality assurance of radiation therapy and stereotactic radiosurgery.

Ключевые слова: Малые поля, дозиметрия, стереотаксическая лучевая терапия, гарантия качества.

Keywords: Small fields, dosimetry, stereotactic radiation therapy, quality assurance.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-112-115>

Благодаря современным высокоточным технологиям стала возможной стереотаксическая лучевая терапия/ радиохирургия – вид дистанционной лучевой терапии, позволяющий производить высокоточную доставку к опухоли большой дозы излучения с минимизацией облучения здоровых тканей. Используя методы лучевой терапии с модуляцией интенсивности или с модуляцией объёма возможно точно сфокусировать пучок ионизирующего излучения на опухоли и тем самым уменьшить нагрузку на здоровые ткани.

Для обеспечения надлежащего качества дистанционной лучевой терапии, предусмотрен план мероприятий в рамках *гарантии качества* по контролю параметров линейного ускорителя. В неё входят, помимо прочих параметров, измерение дозиметрических характеристик пучка высокоэнергетических фотонов. Существует Серия технических докладов ВОЗ №398 (Определение поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии: Международные практические рекомендации по дозиметрии, основанные на эталонах единицы поглощенной дозы в воде), в которых описаны все методы дозиметрии и рекомендации.

Стереотаксическая лучевая терапия применяется в основном для мишеней малых объёмов и лечение осуществляется малыми полями. Обычно поля размером менее 4см×4см считаются выходящими за рамки обычной дозиметрии и требуют особого внимания как в измерении, так и в расчёте дозы излучения. Существуют три основных параметра, помогающих определить масштабы, в которых можно говорить о малости поля. Это размеры источника и детектора и разброс электронов в облучаемой среде. Очевидно, что с уменьшением размера поля всё меньшая часть источника будет видна с точки зрения детектора, и, соответственно, области полутени будут перекрываться. В таких условиях стандартные методы определения размера поля такие, как измерение полной ширины на половине максимума профиля перестают работать, размер поля переоценивается [1].

Определение малого поля:

- Отсутствие электронного равновесия;

- Частичная видимость источника;
- Усреднение по объёму детектора.

Особенности дозиметрии малых полей:

1. Объёмный эффект.

Любой детектор усредняет дозу внутри своего объёма. Если доза излучения меняется внутри объёма, то это усреднение будет давать различный сигнал по сравнению с сигналом от бесконечно малого детектора, помещённого в центре большего детектора. Это так называемый *объёмный эффект*. Он играет значительную роль в дозиметрии малых полей, так как приводит к двум последствиям:

- доза в центре поля недооценивается – это важно для измерения коэффициента выхода и абсолютной дозиметрии;
- полутень размывается – важно для определения размера поля и измерений профиля.

2. Энергетическая зависимость.

Энергетические зависимости детекторов в КэВ и МэВ-энергетических диапазонах различаются довольно сильно. Так кремний, показывает относительно сильную энергетическую зависимость в низкоэнергетическом диапазоне, так как отношение массовых коэффициентов поглощения кремния и воды значительно меняется для таких энергий. Для МэВ-диапазона это отношение меняется довольно слабо и, соответственно, мы имеем слабую энергетическую зависимость. КэВ-энергетическая зависимость особо важна в присутствии низкоэнергетического рассеянного излучения; это случай больших полей. Следовательно, для дозиметрии малых полей КэВ-энергетическая зависимость имеет сравнительно меньшую важность. Рекомендуют использование незащищённых кремниевых детекторов в случае очень малых полей [2].

3. Зависимость от мощности дозы излучения.

Некоторые детекторы проявляют зависимость от мощности дозы, т.е. отклик детектора может меняться с изменением мощности дозы. В зависимости от детектора это может быть реакцией на изменение частоты ускорителя, средней мощности дозы или дозы на импульс. При абсолютной дозиметрии зависимость от мощности дозы обычно корректируется. Поэтому рассмотрим её влияние только на относительные измерения: коэффициенты выхода, профили поля, глубинные дозовые кривые и прочее [3].

При проведении относительных измерений дозы выполняются следующие операции:

- Величина, пропорциональная дозе излучения, измеряется в то время как меняется один из параметров установки. Таким параметром может быть глубина, расстояние от центральной оси, размер поля и др.
- Измерения нормируются к одной точке (кривая умножается на численный коэффициент).
- Вся измеренная кривая представляется в виде относительных величин.

После нормирования величина имеет точное значение в этой точке. Следовательно, в плоской части поля профиль в очень хорошем приближении не подвергается влиянию зависимости от мощности дозы. Чем больше действительный сигнал отличается от сигнала в точке нормирования, тем сильнее может быть влияние данной зависимости. В то же время, абсолютное значение отклонения мало при слабых сигналах, так как сигнал слаб сам по себе. В общем, после нормирования сигнала на 100 %, отклонение, обусловленное зависимостью от мощности дозы, лучше всего проявляется на 50 % уровне дозы.

В 2017 году в РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова установлен аппарат TrueBeam фирмы Varian на базе которого возможно проведение стереотаксической лучевой терапии. Линейный ускоритель генерирует тормозное излучение с энергией 6 МэВ. Руководствуясь рекомендациям Серии технических докладов ВОЗ № 483 измерены факторы выхода и профиля малых полей, сравнены с системой планирования Eclipse. Фактор выхода определяется для данной энергии пучка как отношение дозы для конкретного размера поля на глубине Z_{max} (максимум ионизации) к дозе на той же глубине для референсного (опорного) поля размером 10см×10см.

Для измерений использовался алмазный детектор PTW type 60003, ионизационной камеры PinPoint type 31014, диодный детектор Diode P type 60016 (рис.1).

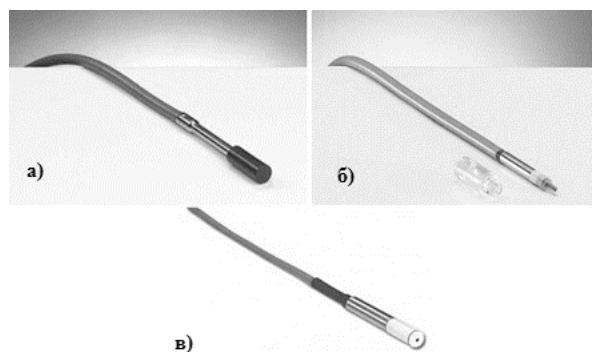


Рисунок 1: а) - алмазный детектор PTW type 60003;
б) – ионизационная камера PinPoint type 31014; в) – Diode P type 60016

Параметры алмазного детектора PTW Type 60003:

- Чувствительный объём – 1 мм³;
- Линейность отклика $\pm 2\%$ в диапазоне 80 кэВ - 20 МэВ;
- Плотность вещества оболочки – 1,05 г/см³;
- Эффективная точка измерений – 1 мм от края по оси детектора.

Параметры ионизационной камеры PTW PinPoint type 31014:

- Чувствительный объём – 15 мм³;
- Линейность отклика $\pm 2\%$ до 50 МэВ;
- Плотность вещества оболочки – 1,19 г/см³;
- Эффективная точка измерений – 3,4 мм от края по оси детектора.

Параметры диодного детектора PTW Diode P Type 60016:

- Чувствительный объём – 0,03 мм³;
- Линейность отклика $\pm 2\%$ до 25 МэВ;
- Плотность вещества оболочки – 1,045 г/см³;
- Эффективная точка измерений – 2 мм от края по оси детектора [4].

В итоге, на рисунке 2 видно, что объёмный эффект в центре поля в совокупности с центрально осевым нормированием приводит к следующему:

- поле кажется большим, чем на самом деле;
- доза излучения за пределами основного поля увеличивается в дополнение к объёмному эффекту.

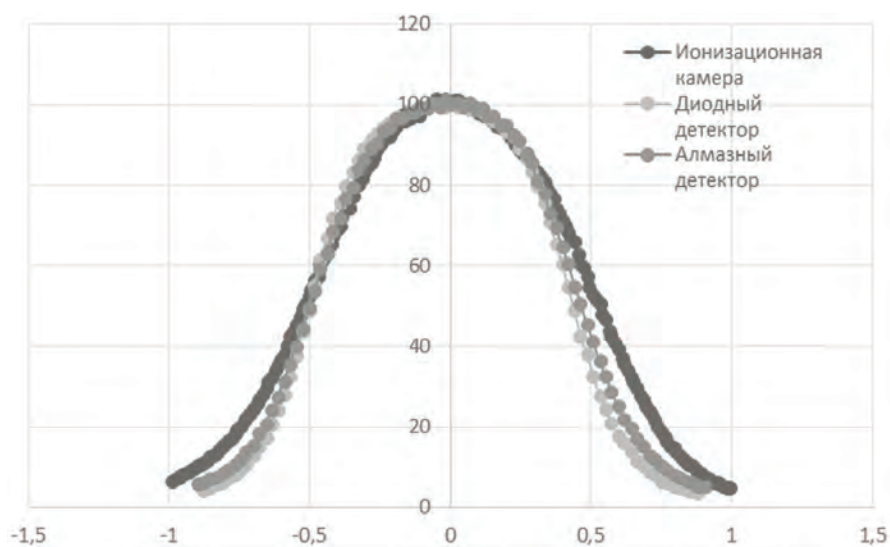


Рисунок 2 – Профили дозы поля 1 см × 1 см энергии 6х Мэв ЛУ TrueBea

Таким образом, для измерения профиля поля 1 см² и менее, необходимо использовать алмазный или диодный детектор.

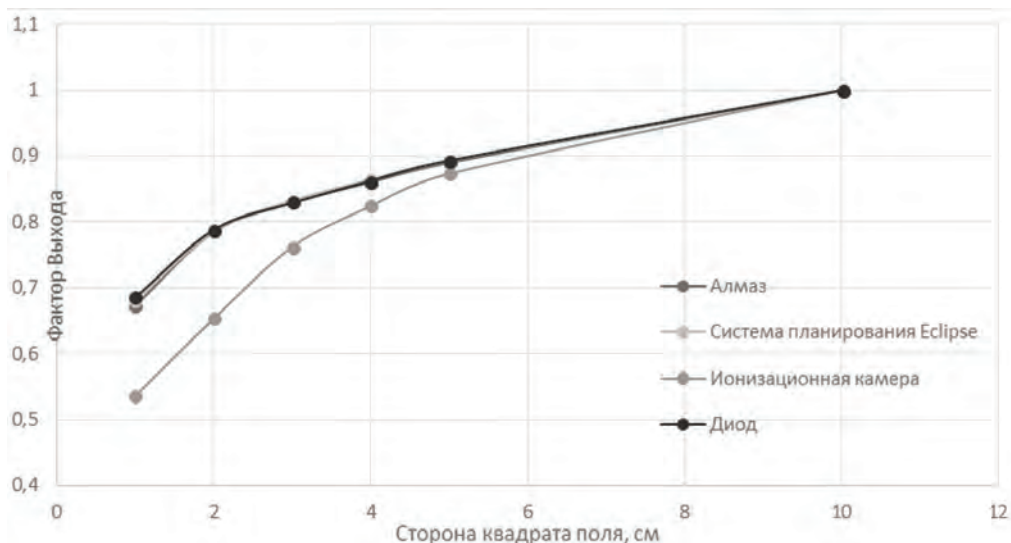


Рисунок 3 – График зависимости стороны квадрата поля от фактора вы

Видно, что данные с алмазного и диодного детекторов практически совпадают с данными системы планирования Eclipse (рис.3). Можем сделать вывод, что алмазный и диодный детекторы более пригодны для измерения малых полей, так как значения фактора выхода измеренные данными детекторами, более аккуратны с учётом данных с системы планирования Eclipse, что является следствием лучшего собирания электронов алмазным и диодным детекторами.

Внедрение Серии технических докладов ВОЗ № 483 в практику позволяет чётко оценить и контролировать физические параметры стереотаксического оборудования, подобрать необходимые инструменты для дозиметрии малых полей и обеспечить гарантию качества радиохирургии на должном уровне.

В отделении лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова удалось реализовать дозиметрию малых полей на основе имеющегося оборудования и получить результат, соответствующий техническим характеристикам линейного ускорителя TrueBeam фирмы Varian и системы планирования Eclipse. Это позволило внедрить новые подходы в дистанционной лучевой терапии и радиохирургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Reference and Relative Dose Determination: Technical Reports Series № 483 / International Atomic Agency. – Vienna, 2017. – 228 p.
2. Small Field MV Dosimetry. Institute of Physics and Engineering in Medicine, Report Number 103, York, England, 2010.
3. Prescribing, Recording, and Reporting of Stereotactic Treatments with Small Photon Beams, Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements / Oxford University Press. – Vol. 14, № 2. – 2014. – 152 p.
4. DETECTORS catalogue, Including Codes of Practice 2019/2020 / PTW. – Freiburg, 2019. – 96 p.

ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫМИ ФОРМАМИ РАКА ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ECOLOGICAL AND EPIDEMIOLOGICAL ASSESSMENT OF THE INCIDENCE OF VARIOUS FORMS OF THYROID CANCER IN THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

И. Я. Луханина

I. Lukhanina

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

iren.luhanina@yandex.ru

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Материалом для изучения различных форм рака щитовидной железы (далее – РЩЖ) послужили данные Белорусского канцер-регистра за 2001-2017 гг. В структуре заболеваемости более 90% РЩЖ занимает ПРЩЖ. Проведенный анализ выявил интенсивный рост заболеваемости папиллярного РЩЖ (далее – ПРЩЖ) у населения республики, на фоне снижения показателей смертности. Для других форм РЩЖ изменений в динамике показателей заболеваемости и смертности отмечено не было. Показано, что заболеваемость РЩЖ была значимо выше у женщин, чем у мужчин, а также у городского населения, в отличие от сельского (для всех форм, кроме анапластического РЩЖ (далее – АРЩЖ)). Изучение распределения по стадиям показало высокий уровень ранней диагностики для всех форм РЩЖ, за исключением АРЩЖ. Наиболее высокая выживаемость отмечается для ПРЩЖ, самая низкая – для АРЩЖ (независимо от стадии заболевания).

The material for the study of various forms of thyroid cancer was the data from the Belarusian Cancer Registry for years 2001- 2017. In the structure of the incidence of more than 90% of thyroid cancer is PTC. The analysis revealed an intensive increase in the incidence of PTC in the population of the Republic, against the background of the decrease in mortality rates. For other forms of thyroid cancer, changes in morbidity and mortality rates were not observed. It was shown that the incidence of thyroid cancer was significantly higher in women than in men, as well as in the urban population, as opposed to the rural (for all forms of thyroid carcinoma except ATC). The study of the distribution of the stages showed a high level of early diagnosis for all forms of thyroid cancer, with the exception of ATC. The highest survival rate is noted for PTC, the lowest - for ATC (regardless of the stage of the disease).

Ключевые слова: население Республики Беларусь, рак щитовидной железы, авария на ЧАЭС, грубый интенсивный показатель, стандартизованный показатель, по возрастной показатель.