



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2021-19-5-13-20>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 615.478.1

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТОВ КОНТАКТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ. КОЛЬЦЕВОЙ АППЛИКАТОР

Д.И. КОЗЛОВСКИЙ¹, Е.В. ТИТОВИЧ², Ю.И. КОЗЛОВСКАЯ³

¹Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь)

²УП «АДАНИ» (г. Минск, Республика Беларусь)

³Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 12 октября 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2021

Аннотация. Проведено исследование технико-дозиметрических характеристик аппаратов и аппликаторов для брахитерапии. На примере кольцевого аппликатора выполнено тестирование корректности позиционирования источника ионизирующего излучения (ИИИ) внутри аппликаторов как часть процедуры ввода в эксплуатацию и контроля качества аппликаторов для проведения лечения. Были установлены величины несоответствий в положении ИИИ при планировании и реализации дозиметрических планов облучения для лучевой терапии. Выявление величин несоответствия проводилось с использованием полученных рентгеновских изображений аппликатора в момент реализации планов облучения. Дозиметрический план представлял собой последовательное расположение ИИИ в теле аппликатора в каждой активной позиции с минимальным шагом на протяжении от кончика до вагинальной части аппликатора. Рентгеновское изображение было получено при нахождении источника последовательно в каждой активной позиции аппликатора. При проведении дозиметрического планирования использовались три метода реконструкции аппликатора. В ходе проведения анализа было выявлено, что метод реконструкции аппликатора влияет на величину несоответствия при определении позиции источника в просвете кольца аппликатора. При помощи методов статистического анализа проведено вычисление средних, медианных, максимальных и минимальных значений величин выявленных отклонений. Результаты представлены в виде таблиц и графиков для всех исследуемых позиций остановки ИИИ. На основании результатов исследования сделан вывод о целесообразности проведения процедур контроля качества при вводе аппликаторов в клиническую эксплуатацию. Основываясь на полученных результатах, приемлемым является проведение процедуры контроля качества точности позиционирования ИИИ в аппликаторах не реже одного раза в месяц. Учет полученных результатов исследования при проведении дозиметрического планирования позволит повысить качество проведения сеансов облучения методом брахитерапии, тем самым улучшить качество оказания онкологической помощи населению.

Ключевые слова: брахитерапия, кольцевой аппликатор, контроль качества.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Козловский Д.И., Титович Е.В., Козловская Ю.И. Анализ технико-дозиметрических характеристик аппаратов контактной лучевой терапии. Кольцевой аппликатор. Доклады БГУИР. 2021; 19(5): 13-20.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF THE BRACHYTHERAPY AFTERLOADERS. RING APPLICATOR

DZIANIS I. KAZLOUSKI¹, YAHOR V. TITOVICH², YULIYA I. KAZLOUSKAYA³

¹*International Sakharov Environmental Institute of Belorussian State University (Minsk, Republic of Belarus)*

²*ADANI (Minsk, Republic of Belarus)*

³*N.N. Alexandrov National Cancer Centre (Minsk, Republic of Belarus)*

Submitted 12 October 2020

© Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. A study of the technical and dosimetry characteristics of brachytherapy afterloaders and applicators was carried out. Ring applicator has been taken as an example, the correctness of positioning of a radiation source (RS) inside the applicators was tested as part of the commissioning and quality control procedure of the brachytherapy applicators. The magnitudes of inconsistencies in the position of RS were established when planning and implementing treatment plans for radiation therapy. The identification of the values of the discrepancy was carried out using the obtained X-ray images of the applicator at the time of the implementation of the irradiation plans. The treatment plan was a sequential positioning of RS in the body of the applicator in each active position with a minimum step from the tip to the vaginal part of the applicator. The X-ray image was obtained by locating the source sequentially at each active position of the applicator. When carrying out dosimetric planning, 3 methods of applicator reconstruction were used. The analysis revealed that the applicator reconstruction method affects the magnitude of the discrepancy in determining the position of the source in the lumen of the applicator ring. Using the methods of statistical analysis, the mean, median, maximum and minimum values of the detected deviations were calculated. The results are presented in the form of tables and graphs for all investigated stop positions of IRS. Based on the results of the study, we consider it expedient to carry out quality control procedures when putting applicators into clinical operation. Based on the results obtained, we consider it acceptable to conduct a quality control procedure for the positioning accuracy of radiation sources in the applicators at least 1 time per month. Taking into account the results of the study when carrying out dosimetric planning will improve the quality of the irradiation sessions using the brachytherapy method, thereby improving the quality of oncological care for the population.

Keywords: brachytherapy, ring applicator, quality control.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation. Kazlouski D.I., Titovich Y.V., Kazlouskaya Y.I. Analysis of the technical and dosimetric characteristics of the brachytherapy afterloaders. Ring applicator. Doklady BSUIR 2021; 19(5): 13-20.

Введение

Соблюдение программы гарантии качества лучевой терапии является одним из важнейших методов повышения качества лучевого лечения пациентов. Ввод аппликаторов в клиническую эксплуатацию, как часть программы гарантии качества в лучевой терапии, включает в себя проверку дозиметрических и геометрических параметров аппликаторов [1, 2]. Точность позиционирования источника, которая определяется как соответствие между реальным положением источника ионизирующего излучения (ИИИ) и положением, определяемым реконструкцией аппликатора на системе планирования лечения, является основным параметром программы контроля качества. При проведении брахитерапии рака шейки матки одним из наиболее популярных типов аппликаторов, используемых для формирования дозового распределения, является кольцевой аппликатор. Выбор данного аппликатора обуславливается рядом преимуществ: дополнительные возможности для оптимизации дозового распределения; возможность применения результатов дозиметрического планирования для последующих фракций лечения; удобство использования и уменьшение дискомфорта для пациента во время укладок. Для получения возможности перемещения ИИИ

внутри кольцевого аппликатора необходимо, чтобы ширина канала для движения источника была больше диаметра капсулы источника. Однако это приводит к расхождению между запланированным и реальным положением ИИИ. Также геометрические характеристики канала для движения источника и самого аппликатора могут иметь отличия у одного производителя, что вносит дополнительные неопределенности при проведении брахитерапии рака шейки матки [3]. Отмечаются различия в правильности запланированного положения ИИИ в канале аппликатора до 6 мм [4, 5].

Таким образом, ввод в эксплуатацию аппликаторов для брахитерапии – это один из наиболее важных этапов проведения контроля качества, который существенным образом влияет на точность доставки дозы пациенту при проведении брахитерапии. Основными методами проверки точности позиционирования ИИИ являются методы определения положения источника при помощи EPID панелей, рентгеновской пленки, цифровой радиографии [6, 7].

Целью работы является обнаружение несоответствий в технико-дозметрических характеристиках аппликаторов для проведения контактной лучевой терапии при проведении дозиметрического планирования облучения.

Материалы и методы

Основной характеристикой аппликаторов, которая наиболее существенно влияет на точность доставки дозы пациенту, является соответствие позиции остановки источника в канале аппликатора соответствующей активной позиции, полученной после проведения реконструкции в системе планирования облучения (СПО).

Позиции остановки источника в кольцевых аппликаторах определялись согласно полученным цифровым рентгенограммам ИИИ в канале аппликатора на брахитерапевтическом комплексе в составе: аппарат для проведения лечения microSelectron-HDR и рентгеновская установка «Integrated Brachytherapy Unit» производства Elekta (Швеция). Аппликатор был размещен горизонтально на столе для укладки пациентов и закреплён фиксирующим устройством для предотвращения его смещения в процессе исследования, как показано на рис. 1. Головка аппарата была установлена на уровне аппликатора для обеспечения максимального соответствия эксперимента условиям проведения периодического контроля качества позиционирования источника в аппликаторах.



Рис. 1. Крепление аппликатора и расположение его на столе для укладки пациентов

Fig. 1. Applicator positioning on the patient table

На компьютере управлением лечением был создан тестовый лечебный план для каждой модели аппликатора, который включает в себя последовательное размещение ИИИ в позициях кольца. Параметры плана облучения указаны в табл. 1.

Таблица 1. Параметры лечебных планов для различных аппликаторов
Table 1. Treatment plan options for different applicators

Название плана Plan name	Наименование аппликатора Applicator name	Шаг источника, мм Step size, mm	Номера активных позиций Active dwell positions	Время расположения ИИИ в каждой позиции, с Dwell time for each positions, s	Количество позиций ИИИ Number of source positions
Plan1	CT/MR Ring applicator, Elekta $d = 26$ mm (Ring 26)	2,5	1–30	5	30
Plan2	Interstitial Ring applicator, Elekta $d = 30$ mm (Ring 30)	2,5	1–35	5	35
Plan3	Interstitial Ring applicator, Elekta $d = 34$ mm (Ring 34)	2,5	1–40	5	40

Согласно созданным планам облучения ИИИ был расположен в аппликаторе в каждой позиции на время, в течение которого было получено цифровое рентгеновское изображение аппликатора. Для получения возможности проведения реконструкции аппликатора различными методами рентгенограммы были получены под различными углами штатива аппарата с предварительно помещенным рентгеноконтрастным маркером в аппликатор. Маркер служит для визуализации позиций остановки источников на рентгеновских изображениях и является необходимым условием для проведения реконструкции по точкам описания катетера.

Получение необходимых измерительных данных проводилось с использованием системы планирования облучения (СПО) для брахитерапии. При этом обнаружение запланированного положения источника определялось при помощи трех методов реконструкции (рис. 2): метод точек описания катетера («DP»), метод траектории («Tracking») и использование набора стандартных библиотек аппликаторов от производителя («Library»). Метод «DP» заключается в том, что путь движения источника обозначается через рентгеноконтрастные метки, расположенные на расстоянии 1 см друг относительно друга и указывающие место расположения ИИИ при движении к наиболее удаленной позиции. Метод «Tracking» предполагает обозначение пути движения источника вдоль геометрического центра просвета кольца с отступом 6 мм от конца просвета согласно инструкции пользователя. Также применялся метод использования стандартной библиотеки аппликаторов («Library»), заданный производителем программного обеспечения, при котором расположение активных позиций ИИИ смещено относительно центра аппликатора в сторону реального расположения источника в аппликаторе. Для увеличения точности реконструкции катетеров были использованы рентгеновские изображения, которые получены при установке угла наклона штатива рентгеновского аппарата 0 и 90 град.

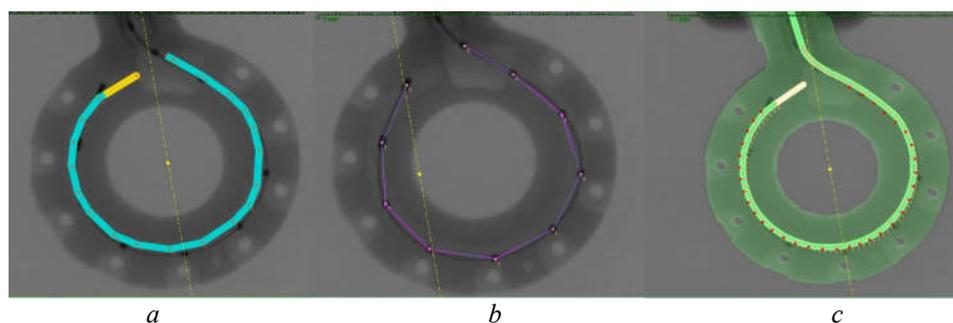


Рис. 2. Сравнение методов реконструкции кольцевого аппликатора: *a* – «Tracking»; *b* – «DP»; *c* – «Library»
Fig. 2. Comparison of ring applicator reconstruction methods: *a* – «Tracking»; *b* – «DP»; *c* – «Library»

Положение ИИИ на рентгеновском изображении определялось по координатам точки, установленной пользователем в центре капсулы источника. Координата позиции ИИИ была определена как среднее значение координат точек источника, полученное после установки их пользователем в режиме планирования брахитерапии на СПО. Запланированное положение ИИИ определялось для каждого метода реконструкции и соответствовало среднему значению координат для каждой позиции остановки ИИИ, полученному при проведении реконструкции аппликатора.

Результаты и обсуждение

Был проведен анализ полученных данных при помощи математического пакета «Statistica v10.0». Для оценки различия между медианами погрешностей реконструкции были использованы непараметрические критерии ($p < 0,05$). Значения неопределенностей при определении всех активных позиций для различных методов реконструкции в кольцевых аппликаторах приведены на рис. 3 и в табл. 2.



Рис. 3. Погрешности для каждого метода реконструкции во всех исследуемых позициях ИИИ в кольцевых аппликаторах
Fig. 3. Uncertainties for each reconstruction method for all dwell positions in ring applicators

Таблица 2. Значения полученных отклонений для различных типов аппликаторов
Table 2. The deviations obtained for different types of applicators

Тип аппликатора Applicator type	Среднее значение, мм Mean, mm	Медиана, мм Median, mm	Максимальное отклонение, мм Maximum deviation, mm	Минимальное отклонение, мм Minimum deviation, mm	Интраквартильный размах, мм Intraquartile range, mm
Метод реконструкции «DP»					
Ring 26	1,64	1,63	2,92	0,6	1,81
Ring 30	2,06	2,02	3,39	0,78	0,23
Ring 34	2,36	2,43	4,21	0,36	0,17
Метод реконструкции «Tracking»					
Ring 26	3,61	2,13	3,7	0,6	1,37
Ring 30	2,84	2,83	4,25	1,34	0,28
Ring 34	2,7	2,58	4,77	0,42	0,46
Метод реконструкции «Library»					
Ring 26	0,55	0,54	1,21	0,14	0,25
Ring 30	1,24	1,33	2,09	0,29	0,34
Ring 34	0,87	0,86	1,65	0,25	0,28

При использовании метода реконструкции «DP» наибольшая величина отклонения от реальной позиции ИИИ составляет 4,21 мм и располагается в средней части аппликатора. В связи с тем, что расположение рентгеноконтрастных меток практически полностью совпадает с расположением тросика ИИИ при установке в наиболее удаленную позицию, погрешность проведения данного метода реконструкции в первой четверти кольцевой части аппликатора является минимальной. Близкое расположение маркерных точек к стенке канала в сравнении с центром капсулы ИИИ приводит к появлению погрешностей при проведении реконструкции данным методом и, как следствие, неточности в определениях позиций остановки источника.

Для метода реконструкции «Tracking» погрешность составляет 4,77 мм. Разброс у данного метода выше по сравнению с «DP» по причине отсутствия методов рентгеновской визуализации центра просвета кольца и, как следствие, неточности в определении наиболее удаленной позиции остановки ИИИ. Расположение капсулы источника ближе к стенке канала обуславливает несоответствия в определении позиций остановки ИИИ.

При реконструкции аппликатора при помощи набора стандартных библиотек наибольшее отклонение составляет 2,09 мм, что существенно ниже, чем при других методах реконструкции. Модель аппликатора от производителя наиболее точно повторяет путь движения источника по каналу, а смещение активных позиций относительно центральной линии канала приводит к увеличению точности определения положений остановки ИИИ. Расположение модели аппликатора осуществляется по точкам привязки, которые не определяются на рентгеновских изображениях стандартными методами. Это приводит к уменьшению точности реконструкции данным методом и, как следствие, большему разбросу значений.

Выводы

Проведено исследование геометрического расположения и длины канала для движения источника внутри аппликаторов для проведения брахитерапии гинекологических локализаций, а также проверка качества расположения источника в аппликаторе как части процедуры ввода в эксплуатацию аппликаторов для брахитерапии. Для этого были выявлены отклонения в позиционировании источника в кольцевой части аппликаторов в каждой возможной лечебной позиции для аппарата microSelectron HDR при проведении реконструкции по рентгеновским изображениям различными методами. Максимальное значение отклонения при использовании метода реконструкции «Tracking» для кольцевого аппликатора Ring 26 составило 3,7 мм, для Ring 30 – 4,25 мм, для Ring 34 – 4,77 мм. Для всех исследуемых типов аппликаторов метод реконструкции «Library» показал наименьшую погрешность. Наибольшая средняя величина несоответствий была обнаружена при проведении реконструкции аппликатора Ring 30 методом

«Tracking», при этом средняя величина обнаруженных несоответствий не зависела от диаметра аппликатора. Основные величины обнаруженных несоответствий с учетом типа аппликаторов и метода реконструкции приведены в табл. 2. Учитывая высокий градиент дозы от источников излучения в контактной лучевой терапии (до 12 %/мм), обнаруженные величины несоответствий могут оказывать существенное влияние на точность доставки дозы на мишень.

Полученные результаты могут быть использованы при необходимости выбора методики проведения реконструкции аппликатора в соответствии с имеющимися возможностями и методами визуализации, что, в свою очередь, увеличит точность дозиметрического планирования и доставки дозы и, как следствие, повысит качество лучевого лечения пациентов на аппаратах брахитерапии.

Результаты, полученные в результате проведенного исследования, показывают важность проведения процедур контроля качества при вводе аппликаторов в клиническую эксплуатацию и будут полезны медицинским физикам в брахитерапии при создании дозиметрических планов облучения гинекологических локализаций.

Список литературы / References

1. Fonseca G., R van den Bosch M., Voncken R., Podesta M. A novel system for commissioning brachytherapy applicators: Example of a ring applicator. *Physics in Medicine and Biology*; 2017.
2. McMahon R., Zhuang T., Beverly A Steffey, Song H. Commissioning of Varian ring & tandem HDR applicators: reproducibility and interobserver variability of dwell position offsets. *Journal of applied clinical medical physics*. 2011;12(4).
3. Hoshyar N., Cohen G., Voros L., Zaider M. Commissioning of Tandem and Split Ring Applicator. *Brachytherapy*. 2019; May 01;15(1):S153.
4. Tanderup K., Hellebustb T.P., Lange S., Granfeldt J., Pötter R., Lindegaard J.C., Kirisits C. Consequences of Random and Systematic Reconstruction Uncertainties in 3D Image Based Brachytherapy in Cervical Cancer. *Radiotherapy and oncology: journal of the ESTRO*. 2008;Nov.:56-63.
5. Awunor O., Dixon B., Walker C. Direct reconstruction and associated uncertainties of (192)Ir source dwell positions in ring applicators using gafchromic film in the treatment planning of HDR brachytherapy cervix patients. *Phys. Med. Biol.* 2013;58:3207-3225.
6. Tam C., Wronski M., Au P., Ravi Ananth A. Medical Physics, Sunnybrook Odette. EPID-based quality assurance technique for HDR ring and tandem source dwell positions with the Nucletron flexitron afterloader. *Brachytherapy*. 2014;13:S15eS126.
7. Stern R., Liu T. Dwell position inaccuracy in the Varian GammaMed HDR ring applicator. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2010;11(4):3158.
8. Gerald J. Kutcher, TG Chair, Lawrence Coia, Michael Gillin, William F. Hanson, Steven Leibel, Robert J. Morton, Jatinder R. Palta, James A. Purdy, Lawrence E. Reinstein, Goran K. Svensson, Mona Weller, Linda Wingfield. Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM radiation therapy committee task group 40. *Med Phys*. 1994;21:581-618.
9. Awunor O., Berger D., Kirisits C. A multicenter study to quantify systematic variations and associated uncertainties in source positioning with commonly used HDR afterloaders and ring applicators for the treatment of cervical carcinomas. *Medical physics* 2015;42(8):4472-4483.

Вклад авторов

Козловский Д.И. внес существенный вклад в замысел и дизайн исследования, провел анализ и интерпретацию данных, подготовил содержание статьи.

Титович Е.В. осуществил критический пересмотр статьи в части значимого интеллектуального содержания, провел окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Козловская Ю.И. провела сбор и интерпретацию данных исследования, внесла вклад в замысел и направление исследования.

Authors' contribution

Kazlouski D.I. made a significant contribution to the concept and design of the study, analyzed and interpreted the data, prepared the content of the article.

Titovich Y.V. carried out a critical revision of the article in terms of significant intellectual content, carried out the final approval of the article for publication.

Kazlouskaya Yu.I. collected and interpreted research data, contributed to the design and direction of the research.

Сведения об авторах

Козловский Д.И., аспирант Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета.

Титович Е.В., к.т.н., медицинский физик УП «АДАНИ».

Козловская Ю.И., медицинский физик Республиканского научно-практического центра онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова.

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Долгобродская, 23/1,
Международный государственный
экологический институт им. А.Д. Сахарова
Белорусского государственного университета;
тел. +375-29-101-89-34;
e-mail: dn2007@tut.by
Козловский Денис Иванович

Information about the authors

Kazlouski D.I., Postgraduate student of International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University.

Titovich Y.V., PhD, Medical Physicist of ADANI.

Kazlouskaya Yu.I., Medical Physicist of N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus.

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Dolgobrodskaya str., 23/1,
International Sakharov
Environmental Institute
of Belarusian State University;
tel. +375-29-101-89-34;
e-mail: dn2007@tut.by
Kazlouski Dzianis Ivanovich