



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-1-58-65>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 615.478.1

СПОСОБ ПОДВЕДЕНИЯ ДОЗЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БРАХИТЕРАПИИ РАКА ШЕЙКИ МАТКИ

Д. И. КОЗЛОВСКИЙ^{1,2}, Е. А. СУСЛОВА², И. Ю. ДУБИК³, Ю. И. КОЗЛОВСКАЯ²,
В. А. СУСЛОВА², Н. А. АРТЕМОВА², И. Г. ТАРУТИН²

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

²Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии
имени Н. Н. Александрова (г. Минск, Республика Беларусь)

³Брестский областной онкологический диспансер (г. Брест, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 15.11.2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

Аннотация. Предложен способ подведения поглощенной дозы на мишень при проведении брахитерапии рака шейки матки путем использования нового аппликатора, который состоит из кольцевой части и двух маточных каналов. Конструкция аппликатора позволяет осуществлять его внедрение на требуемую глубину с учетом анатомических особенностей, широко охватывать 100 % изодозой облучения шейку и тело матки, что дает возможность подвести запланированную дозу. Пациентке, поступившей в отделение брахитерапии, подвели первую фракцию лечения при помощи аппликатора Interstitial Ring, вторую и последующие фракции выполняли с использованием предложенного аппликатора (всего шесть фракций). В сравнении со стандартным аппликатором Interstitial Ring, применение предложенного аппликатора позволило повысить охват мишени предписанной дозой с 69,2 до 95,5 %. Это привело к увеличению поглощенной дозы на мишень за курс лучевой терапии с планируемых 70,4 до 85,4 Гр. Проанализированы 12 планов облучения для трех пациенток с использованием различных схем фракционирования дозы. Во всех трех случаях удалось повысить охват мишени предписанной дозой, что привело к увеличению суммарной поглощенной дозы на мишень, которая составила более 85 Гр. Предложенный способ успешно применяется в РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова при проведении брахитерапии рака шейки и тела матки.

Ключевые слова: брахитерапия, рак шейки матки, аппликатор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Способ подведения дозы при проведении брахитерапии рака шейки матки / Д. И. Козловский [и др.] // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 1. С. 58–65. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-1-58-65>.

METHOD OF DOSE DELIVERY IN BRACHYTHERAPY FOR CERVICAL CANCER

DZIANIS I. KAZLOUSKI^{1,2}, ALENA A. SUSLAVA², IVAN Y. DUBIK³,
YULIYA I. KAZLOUSKAYA², VALIANTSINA A. SUSLAVA²,
NATALIA A. ARTEMOVA², IGOR H. TARUTIN²

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

²N. N. Alexandrov National Cancer Centre (Minsk, Republic of Belarus)

³Brest Regional Oncological Dispensary of Belarus (Brest, Republic of Belarus)

Submitted 15.11.2022

Abstract. A method is proposed for delivering an absorbed dose to a target during brachytherapy for cervical cancer by using a new applicator, which consists of an annular part and two uterine canals. The design of the

applicator makes it possible to implement it to the required depth, taking into account the anatomical features, to widely cover the cervix and corporis of a womb with a 100 % isodose of irradiation, which makes it possible to deliver the planned dose. The patient admitted to the brachytherapy department received the first treatment fraction using the Interstitial Ring applicator, the second and subsequent fractions were performed using the proposed applicator (6 fractions in total). In comparison with the standard applicator Interstitial Ring, the use of the proposed applicator made it possible to increase the coverage of the target with the prescribed dose from 69.2 to 95.5 %. This led to an increase in the absorbed dose per target for a course of radiation therapy from the planned 70.4 to 85.4 Gy. Twelve treatment plans for 3 patients were analyzed using different dose fractionation schemes. In all three cases, it was possible to increase the coverage of the target with the prescribed dose, which led to an increase in the total absorbed dose per target, which was more than 85 Gy. The proposed method has been successfully applied in the N. N. Alexandrov National Cancer Centre during brachytherapy for cancer of the cervix and corporis of a womb.

Keywords: brachytherapy, cervical cancer, applicator.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation. Kazlouski D. I., Suslava A. A., Dubik I. Y., Kazlouskaya Y. I., Suslava V. A., Artemova N. A., Tarutin I. H. (2023) Method of Dose Delivery in Brachytherapy for Cervical Cancer. *Doklady BGUIR*. 21 (1), 58–65. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-1-58-65> (in Russian).

Введение

Рак шейки матки занимает четвертое место по распространенности среди женского населения трудоспособного возраста Республики Беларусь [1], в связи с чем обеспечение качественного лечения является важной и актуальной задачей. Лучевая терапия – один из наиболее распространенных вариантов лечения рака шейки матки. Проведенные исследования доказывают, что применение брахитерапии в комбинации с дистанционной лучевой терапией (ДЛТ) имеет лучшие показатели выживаемости пациенток, чем при ДЛТ с одномоментным дополнительным локальным облучением (бустом) [2, 3]. Для проведения лечения методом брахитерапии используют два типа аппликатора: на основе тандема и кольца и тандема и овоидов. Тандем устанавливается в цервикальный канал матки, а овоиды или кольцо окружают своды [4]. Для клинического объема мишени среднего и малого размеров нет единого мнения относительно того, какой тип аппликатора следует использовать [5]. Тип аппликатора обычно выбирают в соответствии с размером опухоли и анатомией пациентки. Кольцо имеет жесткую конструкцию и предпочтительнее для сохранения условий использования. Применение овоидов позволяет лучше адаптировать излучающую систему к индивидуальной анатомии пациентки. Отмечено, что использование овоидов может приводить к более высокой дозе на окружающие здоровые ткани, а кольца – к недостаточной дозе на мишень [6]. Другое исследование показывает, что применение овоидов приводило к увеличению объема облучения за пределами мишени при отсутствии значимой разницы в величине предписанной дозы D90 по сравнению с применением аппликатора на основе кольца [7].

Проведение МРТ-исследований при планировании лечения методом брахитерапии является золотым стандартом и позволяет точно определить клинический объем мишени, для которого следует подвести канцерцидную дозу [8, 9]. Однако при наличии опухолевого процесса за пределами шейки матки после курса ДЛТ применение аппликаторов на основе овоидов или кольца не всегда позволяет достичь приемлемого охвата мишени. Использование внутритканевой брахитерапии при распространении опухоли на тело матки может быть малоэффективным по причине возможного отклонения игл от начальной траектории введения при глубине внедрения более 5 см.

Исследования, проведенные J. C. Dimopoulos с соавторами [10], показывают, что подведение дозы более 87 Гр на клинический объем мишени обеспечивает положительный локальный контроль в течение трех лет [11]. В то же время в исследовании K. Tanderup и его соавторов [12] отмечается, что существует зависимость между величиной поглощенной дозы на мишень и результатами лечения в первичном опухолевом очаге. Подведение дозы на мишень более 85 Гр обеспечивает трехлетний локальный контроль 94 % для небольших объемов мишени (<20 см³) и 86 % для больших (>70 см³).

Предложен способ подведения дозы к объему мишени для гинекологических новообразований. Представлено и описано устройство (аппликатор), позволяющее достичь оптимального дозового распределения для шейки и тела матки без необходимости использования внутритка-

невой брахитерапии в случаях распространения опухоли на тело матки на момент проведения брахитерапии.

Материалы и методы исследований

Аппликаторы, применяемые для лечения рака шейки матки, имеют ограниченные возможности для оптимизации дозового распределения выше уровня опорной точки *A* в краниальном направлении в связи с использованием одиночного тандема. Это может приводить к меньшему охвату мишени при распространении заболевания на тело матки на момент проведения брахитерапии.

Для увеличения охвата мишени в области тела матки предложена новая конструкция аппликатора, которая включает в себя два внутриматочных канала для движения источника излучения и кольцо (рис. 1). Два внутриматочных канала вводятся в полость матки. Наличие изгиба на конце каждого канала позволяет проводить оптимизацию дозового распределения на шейку и тело матки, а наличие кольца в области шейки матки повышает возможности охвата основного очага заболевания предписанной дозой. Металлические фиксаторы используются для поддержания конструкции аппликатора неизменной во время проведения предлучевой подготовки пациентки.



Рис. 1. Общий вид предлагаемого аппликатора
Fig. 1. General view of the proposed applicator

Установку аппликатора проводят следующим образом. Два внутриматочных канала одновременно вводят через цервикальный канал в полость матки. Глубина установки аппликатора определяется требуемой областью воздействия (клинический объем мишени высокого риска – CTV HR). Затем устанавливают вагинальную часть аппликатора – кольцо. Внутриматочные каналы поворачивают на 90° в противоположные стороны, а затем фиксируют все части аппликатора между собой при помощи зажима. В исследовании использовались два типа аппликатора: аппликатор Interstitial Ring и предложенный аппликатор для сравнения дозовых характеристик.

Предлучевую подготовку и проведение терапии с использованием аппликатора Interstitial Ring выполняли следующим образом. Перед аппликацией проводили наполнение мочевого пузыря пациентки и затем ультразвуковое исследование (УЗИ) – для определения положения матки и требуемых размеров аппликатора. Под контролем УЗИ аппликатор Interstitial Ring устанавливали таким образом, чтобы вагинальная часть аппликатора полностью прилегала к шейке матки. Для улучшения визуализации аппликатора на МРТ-изображениях в каналы аппликатора помещали маркеры на водной основе, а на поверхность аппликатора наносили гель. Получение магнитно-резонансных изображений выполнялось на аппарате GE Optima MR450w, 1,5 Т. Расположение плоскости полученных МРТ-изображений выбирали параллельно тандему и кольцу аппликатора с целью повышения качества обнаружения CTV HR [13]. МРТ-изображения передавались на систему дозиметрического планирования лечения Oncentra Brachy TPS v4.5.2 (Elekta, Швеция). Определение основных структур (CTV HR, Rectum, Bladder, Sigmoid) выполняли согласно рекомендациям международного комитета по радиационным единицам и измерениям (ICRU 89) [14]. Дозиметрический план лечения составлялся с использованием библиотечной модели аппликатора. Активные позиции остановки источника излучения располагались симметрично ближе к левому и правому параметрию с шагом 5 мм в кольце и равномерно вдоль тандема до уровня кольца – по 8 позиций в каждом канале аппликатора. Предписание дозы осуществлялось на точку *A*. Полученный дозиметрический план лечения являлся отправной точкой для оптимизации дозового распределения с учетом расположения анатомических структур у пациентки. Использовался графический тип оптимизации. Процесс оптимизации продолжался до достижения максимального охвата мишени при соблюдении дозовых ограничений

на критические органы (D_{2cc} bladder ≤ 90 Гр, D_{2cc} rectum, sigmoid ≤ 75 Гр). Доставка дозы осуществлялась на брахитерапевтическом аппарате microSelectron HDR V3.

Для предложенного аппликатора предлучевая подготовка выполнялась следующим образом. Перед началом процедуры для повышения качества УЗ-изображений в мочевой пузырь пациентки через катетер Фолея вводили 100 мл водного раствора NaCl. В полость матки под контролем трансабдоминального УЗИ одновременно вводили два внутриматочных канала. Глубина установки аппликатора выбиралась согласно определенной на МРТ-изображениях требуемой области воздействия. Затем устанавливали вагинальную часть аппликатора – кольцо. Внутриматочные каналы поворачивали на 90° в противоположные стороны, а затем фиксировали все части аппликатора между собой при помощи зажима. В мочевой пузырь вводили рентгеноконтрастное вещество с физиологическим раствором в соотношении 1:10 с целью повышения качества визуализации границы матки и мочевого пузыря для более точного определения взаимного расположения анатомических структур. КТ-изображения получали на компьютерном томографе GE Light Speed с шагом 3,75 мм с отступом в краниальном и каудальном направлениях не менее 3 см от границы матки. На системе дозиметрического планирования проводили совмещение полученных КТ- и МРТ-изображений, выполненных для первой фракции лечения, с целью определения мишени. Критические структуры (rectum, bladder, sigmoid) оконтуривали заново. Дозиметрический план лечения создавали на основе смешанного типа реконструкции. Определение кольца выполняли при помощи совмещения элемента библиотечной модели с изображением кольца, а реконструкцию внутриматочных каналов – методом определения траектории движения источника, начиная с кончика канала с отступом 6 мм. Первая точка реконструкции выбиралась на границе канала аппликатора со стороны наиболее удаленной позиции остановки источника при понижении яркости изображения до уровня, при котором ширина аппликатора составляла 4 мм. Предписание дозы проводилось на точку А. Оптимизацию дозового распределения выполняли графическим методом.

Результаты исследований и их обсуждение

Пациентка К. после проведения ДЛТ поступила в отделение брахитерапии для внутриматочного лечения рака шейки матки. Первая фракция лечения была выполнена с использованием аппликатора Interstitial Ring на основе МРТ-изображений. Дозиметрический план лечения пациентки показан на рис. 2.

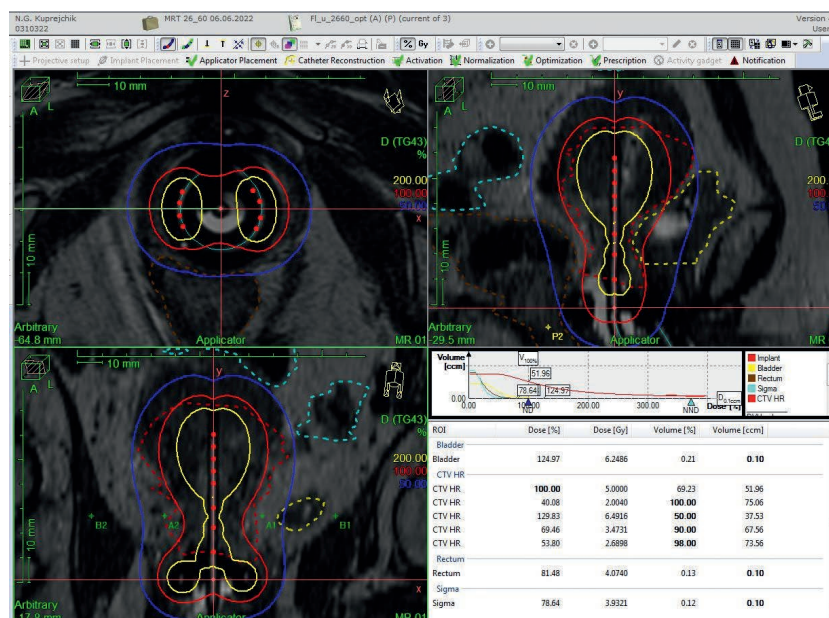


Рис. 2. Оптимизированный дозиметрический план для аппликатора Interstitial Ring
Fig. 2. Optimized dosimetry plan for the Interstitial Ring applicator

Объем покрытия мишени предписанной дозой (V_{100}) составил 69,2 %, а планируемая доза на CTV HR – 70 Гр. Предписанная доза – 5 Гр, шесть фракций, два раза в неделю, суммарная очаговая доза (СОД) – 30 Гр (эквивалентная доза LQD₂ – 37,5 Гр). Для повышения качества охвата мишени и планируемой поглощенной дозы на CTV HR было принято решение следующую фракцию лечения выполнить при помощи предложенного аппликатора. Вторая и последующие фракции выполнялись на основе КТ-изображений. Результаты дозиметрического планирования показаны на рис. 3.

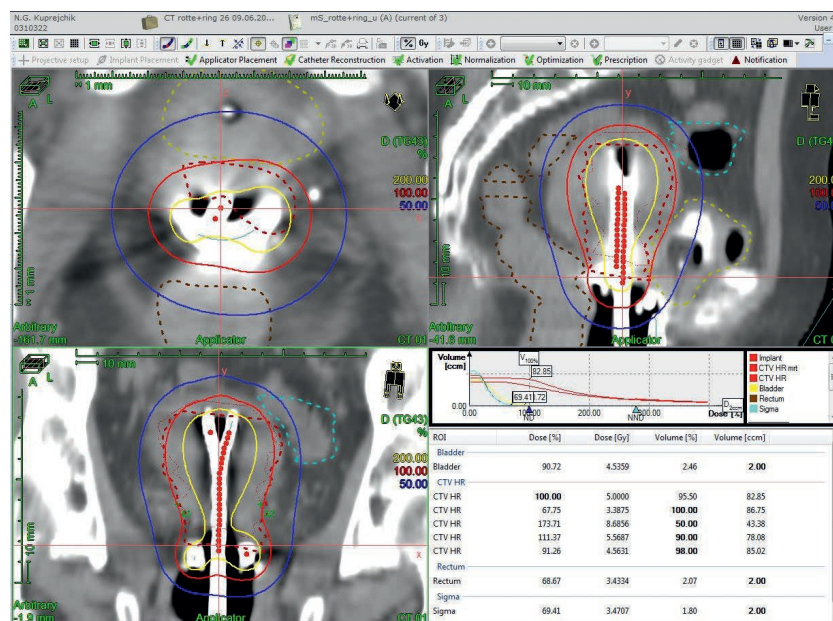


Рис. 3. Оптимизированный дозиметрический план для предложенного аппликатора
Fig. 3. Optimized dosimetry plan for the proposed applicator

Проведение оптимизации дозового распределения позволило достичь приемлемого охвата мишени ($V_{100} = 95,5 \%$). Суммарная подведенная доза на мишень составила 84,4 Гр.

В период июнь – октябрь 2022 года создано 12 дозиметрических планов облучения для трех пациенток с использованием предложенного аппликатора. Проведен сбор данных, рассчитаны значения параметров гистограммы «доза – объем» для дозиметрических планов облучения с применением предложенного аппликатора и Interstitial Ring. При проведении ДЛТ на первом этапе сочетанного лучевого лечения подведение дозы осуществлялось по следующей схеме: 2 Гр/фр, СОД 44 Гр + 6 Гр с центральным защитным блоком. Для сравнения дозиметрических планов общая доза, полученная мишенью облучения и критическими органами при использовании Interstitial Ring, рассчитывалась с учетом одинаковых значений параметров в каждой фракции. Для доставки дозы использовались различные схемы фракционирования дозы при проведении брахитерапии:

- 1 схема: 5 Гр x 6 фракций (два раза в неделю);
- 2 схема: 7 Гр x 4 фракции (два раза в неделю);
- 3 схема: 7 Гр x 3 фракции + 6 Гр x 1 фракция (два раза в неделю).

Полученные значения дозиметрических параметров планов облучения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение значений параметров гистограммы «доза – объем» при дозиметрическом планировании с использованием различных аппликаторов

Table 1. Comparison of “dose – volume” histogram parameters in dosimetric planning using different applicators

Тип аппликатора/ Applicator type	$V_{100}, \%$	$D_{90}, \text{Гр}$	Rectum $D_{2cc}, \text{Гр}$	Bladder $D_{2cc}, \text{Гр}$	Sigmoid $D_{2cc}, \text{Гр}$
Случай № 1 (схема 1)					
Interstitial Ring	69,21	70,1	70,3	89,5	63,9
Предложенный аппликатор	92,82	85,4	78,0	86,0	74,6

Окончание табл. 1
Ending of Table 1

Тип аппликатора/ Applicator type	V_{100} , %	D_{90} , Гр	Rectum D_{2cc} , Гр	Bladder D_{2cc} , Гр	Sigmoid D_{2cc} , Гр
Случай № 2 (схема 2)					
Interstitial Ring	84,58	78,3	66,2	75,5	74,1
Предложенный аппликатор	97,89	95,0	66,8	78,8	71,2
Случай № 3 (схема 3)					
Interstitial Ring	88,19	80,2	62,2	85,9	74,1
Предложенный аппликатор	98,28	96,5	57,5	87,0	72,8

Заключение

1. Применение предложенного аппликатора позволило увеличить охват мишени предписанной дозой на 15,7 %, поглощенная доза на CTV HR увеличилась на 16,1 Гр. При этом дозы на критические органы менялись незначительно – превышение толерантных доз не зафиксировано. Применение предложенного аппликатора для следующих фракций лечения привело к перераспределению горячих и холодных зон и, как следствие, к более равномерному дозовому распределению внутри CTV HR.

2. Разработанная конструкция аппликатора позволяет подводить требуемую дозу на мишень в шейке и теле матки без использования внутритканевой брахитерапии. Проведение оптимизации дозового распределения в области тела матки и получение возможности более полного охвата мишени, которое влияет на увеличение клинической эффективности лечения рака шейки матки, стало результатом использования двух внутриматочных каналов, введенных на достаточную глубину. Конструкция аппликатора позволяет адаптировать глубину внедрения внутриматочных каналов в соответствии с анатомией пациентки, а также исключает необходимость проведения дополнительной внутритканевой брахитерапии тела матки, тем самым снижая риск интра- и постоперационных осложнений.

3. Предложенный способ подведения доз может быть использован в отделениях брахитерапии при проведении лучевого лечения рака шейки матки в случаях распространения опухолевого процесса на тело матки. Данный метод позволяет применять различные варианты фракционирования доз без необходимости проведения внутритканевой терапии.

Список литературы

1. Рак в Беларуси: цифры и факты. Анализ данных Белорусского канцер-регистра за 2010–2019 гг. / А. Е. Океанов [и др.]; под ред. С. Л. Полякова. Минск: РНПЦ ОМР имени Н. Н. Александрова, 2020. 298 с.
2. Effect of Radiotherapy on the Survival of Cervical Cancer Patients: an Analysis Based on SEER Database / J. Yang [et al.] // *Medicine (Baltimore)*. 2019. Vol. 98, No 30. doi: 10.1097/MD.00000000000016421.
3. Differences in Outcome for Cervical Cancer Patients Treated with or Without Brachytherapy / J. Karlsson [et al.] // *Brachytherapy*. 2017. Vol. 16, No 1. P. 133–140. doi: 10.1016/j.brachy.2016.09.011.
4. Mayer, C. Brachytherapy / C. Mayer, D. P. Gasalberti, A. Kumar // *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; November 21, 2022.
5. A Comparison of Tandem Ring and Tandem Ovoid Treatment as a Curative Brachytherapy Component for Cervical Cancer / S. B. Gursel [et al.] // *Journal Contemp Brachytherapy*. 2020. Vol. 12, No 2. P. 111–117. doi: 10.5114/jcb.2020.94308.
6. Dosimetric Comparison of Tandem and Ovoids vs. Tandem and Ring for Intracavitary Gynecologic Applications / D. Levin [et al.] // *Med Dosim*. 2008. Vol. 33, No 4. P. 315–320. doi: 10.1016/j.meddos.2008.06.003.
7. Short-term Clinical Outcome and Dosimetric Comparison of Tandem and Ring Versus Tandem and Ovoids Intracavitary Applicators / J. K. Ma [et al.] // *Journal Contemp Brachytherapy*. 2015. Vol. 7, No 3. P. 218–223. doi: 10.5114/jcb.2015.51853.
8. Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (II): Concepts and Terms in 3D Image-based Treatment Planning in Cervix Cancer Brachytherapy-3D Dose Volume Parameters and Aspects of 3D Image-Based Anatomy, Radiation Physics, Radiobiology / R. Pötter [et al.] // *Radiother Oncol*. 2006. Vol. 78, No 1. P. 67–77. doi: 10.1016/j.radonc.2005.11.014.
9. Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (I): Concepts and Terms in 3D Image Based 3D Treatment Planning in Cervix Cancer Brachytherapy with Emphasis on MRI Assessment of GTV and CTV / C. Haie-Meder [et al.] // *Radiother Oncol*. 2005. Vol. 74, No 3. P. 235–245. doi: 10.1016/j.radonc.2004.12.015.

10. Dose-effect Relationship for Local Control of Cervical Cancer by Magnetic Resonance Image-guided Brachytherapy / J. C. Dimopoulos [et al.] // *Radiother Oncol.* 2009. Vol. 93, No 2. P. 311–315. doi: 10.1016/j.radonc.2009.07.001.
11. Image-guided Radiotherapy and Brachytherapy for Cervical Cancer / S. Dutta [et al.] // *Front Oncol.* 2015. No 5. 64 p. doi: 10.3389/fonc.2015.00064.
12. Effect of Tumor Dose, Volume and Overall Treatment Time on Local Control after Radiochemotherapy Including MRI Guided Brachytherapy of Locally Advanced Cervical Cancer / K. Tanderup [et al.] // *Radiother Oncol.* 2017. Vol. 123, No 1. 169 p.
13. Magnetic Resonance Image Guided Brachytherapy / K. Tanderup [et al.] // *Seminars in Radiation Oncology.* 2014. Vol. 24, No 3. P. 181–191. doi: 10.1016/j.semradonc.2014.02.007.
14. Prescribing, Recording, and Reporting Brachytherapy for Cancer of the Cervix: ICRU Report 89 // *J. ICRU.* 2013. Vol. 13, No 1-2. doi: 10.1093/jicru/ndw042.

References

1. Okeanov A. E., Moiseev P. I., Levin L. F., Evmenenko A. A., Hypatius T. V., Polyakov S. L. (ed.) (2020) *Cancer in Belarus: Facts and Figures. Analysis of Data from the Belarusian Cancer Registry for 2010–2019.* Minsk, N. N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus. 298 (in Russian).
2. Yang J., Cai H., Xiao Z. X., Wang H., Yang P. (2019) Effect of Radiotherapy on the Survival of Cervical Cancer Patients: an Analysis Based on SEER Database. *Medicine (Baltimore).* 98 (30). doi: 10.1097/MD.00000000000016421.
3. Karlsson J., Dreifaldt A. C., Mordhorst L. B., Sorbe B. (2017) Differences in Outcome for Cervical Cancer Patients Treated with or Without Brachytherapy. *Brachytherapy.* 16 (1), 133–140. doi: 10.1016/j.brachy.2016.09.011.
4. Mayer C., Gasalberti D. P., Kumar A. (2022) Brachytherapy. *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.* November 21.
5. Gursel S. B., Serarslan A., Meydan A. D., Okumus N., Yasayacak T. (2020) A Comparison of Tandem Ring and Tandem Ovoid Treatment as a Curative Brachytherapy Component for Cervical Cancer. *Journal Contemp Brachytherapy.* 12 (2), 111–117. doi: 10.5114/jcb.2020.94308.
6. Levin D., Menhel J., Rabin T., Pfeffer M. R., Symon Z. (2008) Dosimetric Comparison of Tandem and Ovoids vs. Tandem and Ring for Intracavitary Gynecologic Applications. *Med Dosim.* 33 (4), 315–320. doi: 10.1016/j.meddos.2008.06.003.
7. Ma J. K., Mourad W. F., Allbright R. et al. (2015) Short-term Clinical Outcome and Dosimetric Comparison of Tandem and Ring Versus Tandem and Ovoids Intracavitary Applicators. *Journal Contemp Brachytherapy.* 7 (3), 218–223. doi: 10.5114/jcb.2015.51853.
8. Pötter R., Haie-Meder C., Van Limbergen E. et al. (2006) Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC ESTRO Working Group (II): Concepts and Terms in 3D Image-based Treatment Planning in Cervix Cancer Brachytherapy-3D Dose Volume Parameters and Aspects of 3D Image-Based Anatomy, Radiation Physics, Radiobiology. *Radiother Oncol.* 78 (1), 67–77. doi: 10.1016/j.radonc.2005.11.014.
9. Haie-Meder C., Pötter R., Van Limbergen E. et al. (2005) Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (I): Concepts and Terms in 3D Image Based 3D Treatment Planning in Cervix Cancer Brachytherapy with Emphasis on MRI Assessment of GTV and CTV. *Radiother Oncol.* 74 (3), 235–245. doi: 10.1016/j.radonc.2004.12.015.
10. Dimopoulos J. C., Pötter R., Lang S. et al. (2009) Dose-effect Relationship for Local Control of Cervical Cancer by Magnetic Resonance Image-guided Brachytherapy. *Radiother Oncol.* 93 (2), 311–315. doi: 10.1016/j.radonc.2009.07.001.
11. Dutta S., Nguyen N. P., Vock J. et al. (2015) Image-guided Radiotherapy and Brachytherapy for Cervical Cancer. *Front Oncol.* (5), 64. doi: 10.3389/fonc.2015.00064.
12. Tanderup K., Fokdal L. U., Sturdza A. et al. (2017) Effect of Tumor Dose, Volume and Overall Treatment Time on Local Control after Radiochemotherapy Including MRI Guided Brachytherapy of Locally Advanced Cervical Cancer. *Radiother Oncol.* 123 (1), 169.
13. Tanderup K., Viswanathan A. N., Kirisits C., Frank S. J. (2014) Magnetic Resonance Image Guided Brachytherapy. *Seminars in Radiation Oncology.* 24 (3), 181–191. doi: 10.1016/j.semradonc.2014.02.007.
14. Prescribing, Recording, and Reporting Brachytherapy for Cancer of the Cervix. *ICRU Report 89, J. ICRU,* 2013. 13 (1-2). doi: 10.1093/jicru/ndw042.

Вклад авторов

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

Суслова Е. А. осуществляла подготовку и выполнение исследований.

Дубик И. Ю. внес существенный вклад в разработку устройства, применяемого для получения данных исследований.

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

Суслова В. А. провела обзор литературных данных по теме исследования, принимала участие в разработке методик проведения исследований.

Артемова Н. А. провела обзор литературных данных по теме исследования, провела окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Тарутин И. Г. осуществил критический пересмотр статьи в части значимого интеллектуального содержания.

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.

Suslava A. A. prepared and carried out the research.

Dubik I. Y. made a significant contribution to the development of the device used to obtain the research data.

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

Suslava V. A. conducted a review of literature data on the research topic, took part in the development of the research methods.

Artemova N. A. conducted a review of the literature data on the research topic, carried out the final approval of the version of the article for publication.

Tarutin I. H. carried out a critical revision of the article in terms of significant intellectual content.

Сведения об авторах

Козловский Д. И., аспирант Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, ведущий медицинский физик РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова

Суслова Е. А., врач-радиационный онколог РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова

Дубик И. Ю., инженер-физик Брестского областного онкологического диспансера

Козловская Ю. И., медицинский физик РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова

Суслова В. А., к. м. н., врач-радиационный онколог РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова

Артемова Н. А., д. м. н., профессор, ученый секретарь, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова

Тарутин И. Г., д. т. н., профессор, медицинский физик РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
Минск, ул. Долгобродская, 23/1
Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета
Тел.: +375 29 101-89-34
E-mail: dnskzlvsk@gmail.com
Козловский Денис Иванович

Information about the authors

Kazlouski D. I., Postgraduate of International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Leading Medical Physicist at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus

Suslava A. A., Radiation Oncologist of N. N. Alexandrov National Cancer Centre at Belarus

Dubik I. Y., Engineering Physicist at Brest Regional Oncological Dispensary

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

Suslava V. A., Cand. of Sci., Radiation Oncologist at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus

Artemova N. A., Dr. of Sci. (Med.), Professor, Scientific Secretary, Chief Scientific Officer at the Radiotherapy Laboratory of N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus

Tarutin I. H., Dr. of Sci. (Eng.), Professor, Medical Physicist at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Dolgobrodskaya St., 23/1
International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University
Tel.: +375 29 101-89-34
E-mail: dnskzlvsk@gmail.com
Kazlouski Dzianis Ivanavich