

## СРАВНЕНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВНУТРИПОЛОСТНОГО ЛЕЧЕНИЯ РАБДОМИОСАРКОМЫ ВЛАГАЛИЩА У ДЕТЕЙ

О.В. Козлов<sup>1</sup>, И.В. Нечушкина<sup>1</sup>, М.И. Нечушкин<sup>1</sup>, Е.А. Котова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина МЗ РФ, Москва

<sup>2</sup> Городская клиническая больница им. Д.Д. Плетнева, Москва

Рабдомиосаркома влагалища – довольно редкое заболевание, в основном поражающее детей в возрасте 1–3 г. Для его лечения применяется хирургия, химиотерапия, дистанционная и контактная лучевая терапия. По контролю опухоли, частоте и выраженности поздних лучевых реакций ведущим является контактная лучевая терапия. С начала 1980-х годов был накоплен значительный опыт с источниками  $^{60}\text{Co}$  и  $^{192}\text{Ir}$ , однако техника и технология брахитерапии к настоящему времени усовершенствовались. В работе рассчитаны дозы и даны оценки распределения доз от источников.

Ключевые слова: кобальт-60, иридий-192, источники ионизирующего излучения, контактная лучевая терапия, рабдомиосаркома, дети

### Введение

В контактной лучевой терапии используются различные виды источников ионизирующего излучения (ИИИ). Исторически первыми были радиевые источники, вводимые вручную по методу “горячего введения”. Использование радиевых ИИИ было настолько популярным, что величина активности других ИИИ выражалась как эквивалентная масса радия. Из-за дороговизны радия и наличия в цепи распада газа радона продолжался поиск альтернативных радионуклидов. С середины двадцатого века для лечения начали применять  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , а с 60-х годов –  $^{192}\text{Ir}$ . Благодаря высокой удельной активности последние два ИИИ можно использовать в виде миниатюрных источников в диапазоне высокой мощности дозы, сокращая продолжительность сеанса лечения.

Изначально источники  $^{60}\text{Co}$  использовались в виде игл и полых трубочек, а  $^{192}\text{Ir}$  – в виде проволочек методом ручного последовательного введения (manual afterloading) в диапазоне низкой мощности дозы. В настоящее время их

используют по принципу “шагающего” источника в аппаратах для последовательного дистанционного введения источников (remote afterloading). Источники  $^{60}\text{Co}$  и  $^{192}\text{Ir}$  используются в аппаратах серии АГАТ, MultiSource (SagiNova), MicroSelectron (Flexitron) и GammaMed (VariSource). Широкое применение нашли источники  $^{192}\text{Ir}$ . Сейчас усиливается интерес к новым ИИИ, таким как  $^{169}\text{Yb}$  и  $^{170}\text{Tm}$ .

Необходимо оценить изменения, произошедшие в конструкции источников и аппаратов, а также методик введения и планирования. Ниже рассчитаны дозы в точках интереса для различных источников  $^{60}\text{Co}$  и  $^{192}\text{Ir}$ .

### Материал и методы

Кобальтовые источники имеют  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучение, период полураспада 5,3 года, максимальная энергия бета-частиц 0,31 МэВ, энергия гамма-квантов 1,17 и 1,33 МэВ. Мягкое бета-излучение кобальта легко поглощается фильтром из никеля. В 80-х годах в РОНЦ со-

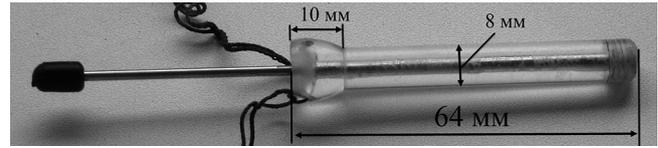
вместно с Институтом атомной энергии им. И.В. Курчатова разработали и изготовили штырьковые источники  $^{60}\text{Co}$  малых размеров: общая длина – 65 мм, активная длина – 60 мм, наружный диаметр – 1 мм.

Источники изготовлены посредством облучения металлического кобальта (чистота материала 99,98 %) в виде кусков проволоки в нейтронном поле реактора. Образцы из кобальта облучались дважды. Неравномерность в распределении активности по длине (отношение локального значения линейной активности к средней линейной активности) не более 5 %. Каждый кусочек кобальта длиной 60 мм помещали в чистую, необлученную никелевую трубку с внутренним диаметром 0,85 мм, толщиной стенок 0,15 мм, которая заваривалась с двух концов.

Источники были изготовлены для внутритканевой лучевой терапии, поэтому было клинически необходимо иметь небольшой внешний диаметр такого ИИИ.

Кобальтовые штырьковые источники применялись не только для manual afterloading при внутритканевой лучевой терапии, но также использовались в специальных аппликаторах для лечения рака влагалища у детей [1]. Для этих целей были изготовлены детские аппликаторы, один из которых представлен на рис. 1, имеющий конструкцию с вынимаемым сердечником, что позволяет использовать этот аппликатор как для лечения на аппарате с remote afterloading, так и для лечения с помощью  $^{60}\text{Co}$ . В этом случае вместо сердечника внутрь аппликатора помещается металлическая трубочка.

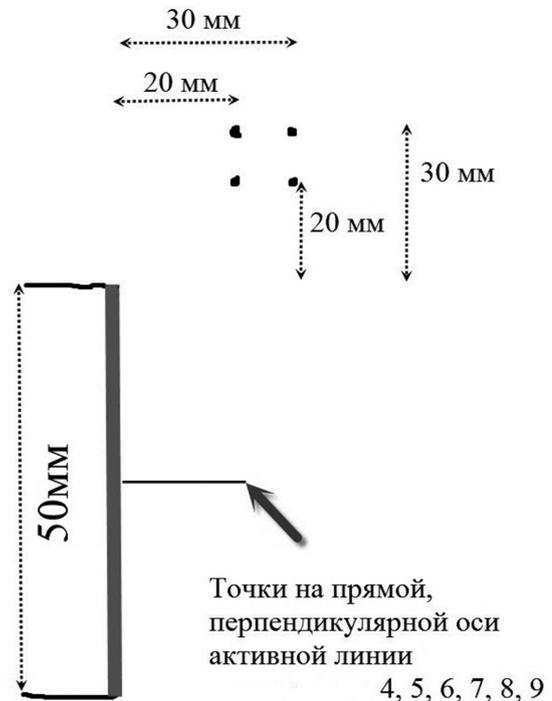
Развитие брахитерапии с применением  $^{192}\text{Ir}$  привело к тому, что от использовавшихся изначально тонких проволоочек перешли к использованию “шагающего” источника для аппаратов с remote afterloading. Высокая удельная активность позволила изготовить “шагающий” источник малых размеров. Источник иридия представляет собой капсулу длиной около 5 мм, толщиной порядка 1 мм.  $^{192}\text{Ir}$  имеет сложный спектр  $\gamma$ -излучения со средней энергией 0,355 МэВ и период полураспада 73,8 сут, что приводит к необходимости замены источника 3–4 раза в год. Малые размеры источника позволили создать тонкие гибкие аппликаторы, которые используются для внутритканевой брахитерапии (лечение дыхательных путей и пищевода). Об-



**Рис. 1.** Аппликатор для лечения рабдомиосаркомы влагалища у детей. Металлический сердечник изготовлен для проведения лечения на аппарате Micro-Selectron, в котором используется “шагающий” источник  $^{192}\text{Ir}$

ратной стороной высокой удельной активности является быстрый распад  $^{192}\text{Ir}$ .

Лечение на современных аппаратах осуществляется с применением метода “шагающего” источника. Благодаря этому можно сформировать оптимальное дозное поле от совокупности позиций остановки источника. Для расчета взяли модель mHDR-v2 фирмы Nucletron ( $^{192}\text{Ir}$ ) и модель Co0.A86 фирмы Vebig ( $^{60}\text{Co}$ ) [2]. Нас интересовали 2 группы точек: точки, находящиеся на центральной линии аппликатора на расстоянии 4–9 мм, и точки, связанные с дозой в яичниках, на расстоянии вверх и вбок 2–3 см от конца активной линии (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема расположения точек интереса относительно активной линии длиной 50 мм. Сверху на схеме расположены точки яичников на расстоянии вверх и по бокам 2–3 см от конца активной линии

Таблица 1

Дозы в точках интереса для штырькового  $^{60}\text{Co}$  и “шагающего” источника  $^{192}\text{Ir}$ , %

	5 мм	6 мм	7 мм	8 мм	9 мм
$^{60}\text{Co}$	197,8	161,0	134,8	115,2	100
$^{192}\text{Ir}$	195,7	159,8	134,2	114,9	100

Таблица 2

Дозы в точках интереса для “шагающих” источников  $^{60}\text{Co}$  и  $^{192}\text{Ir}$ , %

	4 мм	5 мм	6 мм	7 мм	8 мм	9 мм	Точки яичников
$^{60}\text{Co}$ (5 мм)	258,6	201,0	163,1	136,0	115,7	100	5,3–9,9
$^{192}\text{Ir}$ (5 мм)	250,4	195,7	159,8	134,2	114,9	100	5,4–9,9
$^{60}\text{Co}$ (2 мм)	158,6	123,2	100,0	83,4	70,9	61,3	3,2–6,1
$^{192}\text{Ir}$ (2 мм)	156,7	122,5	100,0	84,0	71,9	62,6	3,4–6,4

## Результаты и обсуждение

Для аппарата MicroSelectron HDR был ретроспективно проведен расчёт мощности дозы по прежнему лечебному плану (для лечения использовался детский аппликатор). При этом было активировано 25 позиций с равным временем стояния в каждой позиции. Выбран шаг источника 2,5 мм. Активная длина при этом была примерно равна активной длине кобальтовых игл, использованных для лечения (60 мм).

Для точки нормировки, расположенной на расстоянии 9 мм от центра источника, была задана 100 % доза, для других точек просчитаны процентные дозы относительно точки нормировки. Расчет проводился на планирующей системе PLATO Brachytherapy, в которой используется метод расчета дозы по формализму TG-43 [3].

Для расчета был взят линейный источник  $^{60}\text{Co}$  общей длиной 65 мм с активной длиной 60 мм, описанный выше. Проведен ручной расчет с фильтром из никеля и без него. Из-за того, что фильтр очень тонкий, значения доз в точках интереса относительно точки 9 (доза 100 %), результат расчета с фильтром и без фильтра различаются незначительно. Для сравнения в тех же точках были рассчитаны дозы для “шагающего” источника  $^{192}\text{Ir}$ . Результаты этих измерений приведены в табл. 1.

Совершенствование комплексного лечения и методов визуализации позволило сократить объем облучения, задавая дозу лишь на область, пораженную опухолью (рис. 3). При помещении аппликатора во влагалище, стенка влагалища становится тоньше 2 мм, что позволяет дозировать только на объем поражения,

уменьшая этим лучевые повреждения критических органов. Был произведен расчет доз, результаты которого отражены в табл. 2. Доза на яичники для обоих источников не превышала 10 %, а если учитывать радиобиологическую дозу, то она будет гораздо ниже.

Несмотря на то, что распределения доз от кобальтовых источников и иридиевого “шагающего” источника примерно равны, имеется ряд различий, а именно:

1. Лучевая нагрузка на персонал. При manual afterloading с кобальтовыми штырьковыми ИИИ происходит вынужденное облучение персонала, гораздо большее, чем при применении remote afterloading.
2. Мощность дозы в точке нормировки. Сила воздушной кермы (пропорциональна актив-



Рис. 3. Трехмерная реконструкция мишени (влагалище) и органов риска

ности) влияет на мощность дозы в точке нормировки. Чем выше активность, тем выше нагрузка на персонал, при этом больше мощность дозы в точке нормировки и соответственно меньше время лечения. Продолжительность облучения имеет немаловажное значение при лечении пациентов-детей, находящихся под наркозом, и чем меньше длится процедура, тем лучше для пациента. В современных аппаратах  $^{60}\text{Co}$  используется в виде капсул с активностью до 3 Ки, в то время как  $^{192}\text{Ir}$  – от 3 до 10 Ки, т.е.  $^{192}\text{Ir}$  здесь предпочтительнее.

3. Форма изодозы. При использовании штырьковых источников имеется фиксированная форма изодозы. Мы только можем изменить время нахождения источника в аппликаторе, при этом изменяются только абсолютные дозы, но форма изодоз остается такая же. В случае с “шагающим” источником мы можем менять форму изодозы, изменяя как позиции остановки источников, так и время остановки источника в выбранных позициях.

Из табл. 2 видно, что при нормировании на 2 мм от аппликатора (в случае  $^{192}\text{Ir}$ ) дозы в критических органах (прямая кишка и уретра) примерно в 1,5 раза ниже, нежели при прежней схеме нормировки с использованием  $^{60}\text{Co}$ . Степень выраженности ранних и поздних лучевых реакций также значительно различается и зависит от глубины задания дозы, количества фракций и количества сеансов облучения [1]. Последние два пункта относятся к радиобиологическому планированию, которое не рассматривается в данной статье.

## Выводы

Приведенные расчеты говорят о близких значениях доз в точках интереса при одинаковом нормировании. В то же время использование техники remote afterloading имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с manual afterloading с  $^{60}\text{Co}$ . План для “шагающего” источника может быть составлен с учетом клинической ситуации, т.е. можно увеличить дозную нагрузку по краям или с одного края. Разница между источниками  $^{60}\text{Co}$  и  $^{192}\text{Ir}$  незначительна и любой источник можно применить для лечения данной локализации, однако имеется незначительное преимущество  $^{192}\text{Ir}$  в уменьшении дозы на поверхности аппликатора. Разницу в клинических результатах мы объясняем изменением положения точки дозирования, а не разницей в распределениях доз от разных источников.

## Список литературы

1. Синягина Ю.В., Нечушкина И.В., Марьина Л.А., Нечушкин М.И. Результаты внутриволостной лучевой терапии в комплексном лечении рhabдомиосаркомы влагалища и шейки матки у детей // Вестник РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН. 2011. Т. 22. № 2. С. 69–75.
2. Perez-Catalayud J., Ballester F., Das R et al. Dose calculation for photon-emitting brachytherapy sources with average energy higher than 50 keV: Full report of the AAPM and ESTRO // 2012. ESTRO. P. 46–119.
3. Rivard M., Coursey B., DeWerd L. et al. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A Revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations // Med. Phys. 2004. Vol. 31. № 3. P. 611–674.

## DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF SOURCES USED FOR CHILDREN RHABDOMIOSARCOMA INTRACAVITARY TREATMENT

*O.V. Kozlov<sup>1</sup>, I.V. Nechushkina<sup>1</sup>, M.I. Nechushkin<sup>1</sup>, E.A. Kotova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *N.N. Blokhin Cancer Research Center, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *D.D. Pletnev City Clinical Hospital, Moscow, Russia*

Rhabdomyosarcoma of the vagina is a rare disease that mainly affects children 1–3. For its treatment surgery, chemotherapy, external beam radiotherapy and brachytherapy is applied. The control of tumor and the frequency and severity of late radiation reactions is better with brachytherapy. Since the early 80th experience has been gained with the sources of cobalt-60 and iridium-192, but equipment and technology was improved. Therefore, were investigated the dose and estimated dose distribution from sources.

Key words: *cobalt-60, iridium-192, radioactive sources, brachytherapy, rhabdomyosarcoma, children*

E-mail: [kely@bmail.ru](mailto:kely@bmail.ru)