

Брахитерапия рака предстательной железы микроисточниками ^{125}I : оценка локальных доз облучения персонала

А.Ф. Цыб, В.Ф. Степаненко, О.Б. Карякин, З.Н. Шавладзе,
П.В. Свиридов, Т.В. Колыженков, Н.Т. Панарина, Т.В. Володина
ГУ МРНЦ РАМН, Обнинск

PROSTATE CANCER BRACHYTHERAPY VIA ^{125}I MICROSOURCES: ASSESSMENT OF THE STAFF LOCAL RADIATION DOSE

A.F. Cyb, V.F. Stepanenko, O.B. Karyakin, Z.N. Shavladze, P.V. Sviridov, T.V. Kolizhenkov, N.T. Panarina, T.V. Volodina
Public institution, medical radiological research center, Russian Academy of Medical Sciences, Obninsk

The results of measurements of the local radiation doses of the most irradiated staff bodies regions - operator finger and palm skin, as well as breast region are given. The measurements are carried out via a method of thermoluminescent dosimetry with the use of highly sensitive detectors TLD-500K (Al₂O₃:C). It is ascertained that even in the biggest total activity of the sources (1221 MBq) and the largest duration of work of the staff with them without using X-ray shielding gauntlets, an absorbed dose (minus dose of the natural background radiation and taking into account an energy dependence of the detector sensitivity) equals $0,18 \pm 0,01$ mGray (right hand thumb — the highest radiation level) and $0,01 \pm 0,0004$ mGray (external surface of the left arm palm - the lowest radiation level) that doesn't pose radiohazard even in repeated working with sources (according to radiation standards 99). The normalized values of the absorbed doses (per unit time of the operator work and the sources activity unit) are represented, that allows using the obtained data for the other operating conditions of operator.

Рак предстательной железы (РПЖ) в настоящее время является одним из наиболее распространенных злокачественных новообразований у мужчин среднего и пожилого возраста. Поэтому диагностика и лечение опухолей предстательной железы имеют большое социальное значение. В России в 2005 г. выявлено 15238 новых случаев РПЖ, стандартизованный показатель заболеваемости составил 18,12 на 100 тыс. мужского населения. В структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями мужского населения РПЖ занимает 4-е место (6,9% опухолей всех локализаций) после рака легкого, желудка и опухолей кожи. Среднегодовой темп прироста составляет 8,75%, прирост показателя заболеваемости в 1994—2004 гг. — 131,39%.

Одним из методов локальной терапии РПЖ является внутритканевая лучевая терапия (брахитерапия) [1]. Метод основан на размещении закрытых микроисточников ^{125}I в ткани предстательной железы. Имплантация может быть проведена согласно двум методикам: чрезпростежностно под контролем УЗИ и через параректальную клетчатку под контролем спиральной компьютерной томографии (КТ). В настоящее время метод брахитерапии РПЖ освоен в 5—6 медицинских центрах, и число их возрастает [2]. В связи с этим возникает вопрос о радиационной обстановке во время проведения процедуры и безопасности людей, ок-

ружающих пациента с имплантированными микроисточниками ^{125}I .

Согласно публикации 98-й Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [3] эффективная годовая доза облучения людей, окружающих пациента с имплантированными источниками ^{125}I после выписки из клиники, невелика и не превышает 1 мЗв. В то же время данные о дозах облучения персонала при проведении этого вида терапии в литературе не представлены. В настоящей работе приведены результаты измерений локальных доз облучения персонала — кожи пальцев рук и ладоней, а также грудной области. Следует отметить, что пальцы и кисти рук персонала являются наиболее облучаемыми при брахитерапии с источниками ^{125}I .

Материалы и методы

В ГУ МРНЦ РАМН имплантация микроисточников осуществляется под контролем КТ с использованием 3D-стереотаксической приставки. Согласно методике процедура проводится в кабинете КТ, используется укладка пациента «на животе». Определяются координаты и число рядов, в которых будут имплантироваться микроисточники ^{125}I . Затем через отверстия шаблона вводят иглы-троакары. В течение всей процедуры постоянно проводятся контрольные КТ-сканирования для уточнения глубины введения троакаров и их расположения. При необходимости осуществляется кор-

рекция. В иглы-троакары загружается заранее рассчитанное количество радиоактивных микроисточников ^{125}I . После этого с помощью устройства загрузки микроисточники доставляются в предстательную железу на необходимую глубину. После завершения процедуры имплантации выполняется КТ-сканирование области малого таза для последующей дозиметрии.

Для проведения брахитерапии необходима работа группы персонала — онколога-уролога, радиолога, медицинского физика, анестезиолога, медицинской сестры. На всех этапах подготовки и имплантации каждый из сотрудников соприкасается с микроисточниками в той или иной степени. Медицинский физик выполняет подготовку микроисточников: вскрывает контейнеры и «нарезает» микроисточники согласно плану имплантации. В его обязанности входит загрузка микроисточников в иглы-троакары, через которые источники доставляются в зону облучения. Работа выполняется вручную с помощью пинцета длиной 10 см. Онколог-уролог, используя специальный инструмент, также вручную имплантирует источники в орган-мишень. Анестезиолог, радиолог и медсестра тоже постоянно находятся в непосредственной близости от зоны облучения. Поскольку медицинский физик (оператор) контактирует с источниками излучения максимальное время, целесообразно было измерять лучевую нагрузку именно у этого работника.

Микроисточники ^{125}I . ^{125}I распадается путем электронного захвата с периодом полураспада 60,2 сут, излучает характеристическое фотонное излучение, электроны внутренней конверсии и так называемые Ожэ-электроны [4]. В ГУ МРНЦ и других клиниках РФ используются закрытые микроисточники ^{125}I (InterStrand 125 , Model ^{125}IS , Бельгия и VEBIG). Микроисточники представляют собой цилиндрические запаянные с двух торцов герметичные титановые капсулы длиной 4,5 мм, диаметром 0,8 мм и толщиной титановой оболочки 0,05 мм, внутри которых находится серебряный стержень с электрохимически

нанесенным изотопом и золотой маркер (по оси цилиндра) диаметром 0,17 мм. Маркер необходим для рентгеновской индикации их положения. Микроисточники фиксированы на полимерной рассасывающейся нити. Излучаемые ^{125}I электроны внутренней конверсии и Ожэ-электроны полностью поглощаются в материале капсулы, а радиотерапевтическое воздействие производится характеристическим фотонным излучением с эффективной энергией 28,33 кэВ. Слой половинного ослабления фотонного излучения ^{125}I в мягких тканях — около 2 см. Активность микроисточников, обычно используемых при имплантации, — от 7,4 до 74 МБк в каждой капсуле (в зависимости от дозиметрического плана операции).

Детекторы. Главной проблемой при проведении исследования являлась доказательность его результатов, поскольку измерения необходимо было провести в диапазоне очень малых доз и низких энергий ионизирующего излучения. Поэтому в качестве дозиметров фотонного излучения ^{125}I выбраны миниатюрные термолюминесцентные детекторы — ТЛД-500К (рис. 1) — из монокристаллов анионодефицитного $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$, обладающие высокой чувствительностью (10^{-6} Гр) при низком дозовом эквиваленте собственного фона ($< 3 \times 10^{-7}$ Гр), хорошей точностью измерения дозы в диапазоне энергии фотонного излучения от 10 кэВ до 3 МэВ, линейной зависимостью в широком диапазоне поглощенных доз, малыми размерами, механической прочностью, химической и радиационной устойчивостью, хорошей устойчивостью к сохранению дозиметрической информации при нормальных условиях [5].

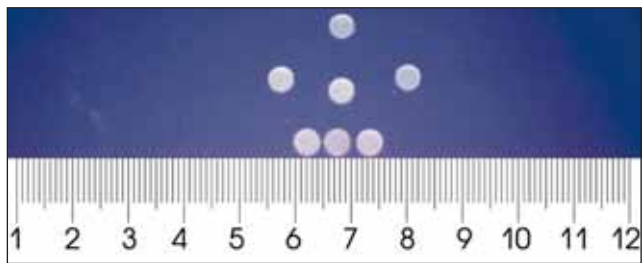


Рис. 1. Семь миниатюрных детекторов ТЛД-500К ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$) без упаковки



Рис. 2. Размещение сборок детекторов ТЛД-500К ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$) в специальных пакетах на пальцах оператора перед проведением измерений

Таблица 1. Активность микроисточников ^{125}I , использованных при измерениях, и длительность работы оператора с источниками

Сеанс	Дата измерений	Длительность, мин	Суммарная активность источников, МБк	Средняя активность одного источника, МБк
1-й	16.11.2006	150	1221	12,58
2-й	23.01.2007	96	1073	12,21
3-й	31.01.2007	90	1036	12,58

Процедура проведения измерений в клинических условиях. Перед началом измерений ТЛД-500К в течение 3 ч отжигали при 500°C. Затем их размещали на пальцах и кистях рук оператора (рис. 2), а также на груди в специальных пакетах в условиях электронного равновесия. В каждом пакете в виде сборки было размещено по 3 детектора общей площадью около 2,7 см². Поверх пакетов с детекторами на руки оператора были надеты обычные хирургические перчатки без специальной защиты. Общая толщина материала пакета и перчаток составляла около 40 мг/см², что по Нормам радиационной безопасности (НРБ)-99 соответствует толщине покровного слоя кожи на ладонях. Всего было проведено 3 сеанса измерений (табл. 1). Места размещения детекторов были одинаковыми при каждом из 3 сеансов измерений (табл. 2), как и используемые перчатки и среднее расстояние до источников во время работы оператора. Детекторы размещали в местах, соответствующих максимально возможному облучению, но в то же время так, чтобы не создавать помехи работе оператора. Во время подготовки источников к операции передняя поверхность торса оператора была защищена металлическим экраном, во время имплантации источников защита отсутствовала. При имплантации микроисточников оператор осуществлял их подготовку

к проведению процедуры, затем загружал источники в иглы-троакары, через которые они доставлялись непосредственно в предстательную железу. Оператор правой рукой работал пинцетом (среднее расстояние от пальцев до источников — 10 см), а левой рукой (поддерживающие функции внешней стороной ладони) — без пинцета. Процесс введения источников в предстательную железу осуществлялся под контролем КТ.

Все измерения проводились с микроисточниками одного типа (IBT) в стандартных условиях без корректировки исходного плана. На практике используются микроисточники разного типа нескольких фирм-производителей, для подготовки которых к операции применяются различные приспособления. Условия проведения имплантации могут различаться большим числом сканирований, коррекцией плана имплантации, возникновением ситуаций, требующих дополнительно контакта с микроисточниками. Это оказывает влияние на суммарную полученную дозу облучения и является предметом наших дальнейших исследований. Планируется также измерение эффективной дозы облучения всего тела при размещении детекторов вне и внутри фантома человека.

Параллельно в аналогичном помещении и в аналогичных условиях экспозиции, но без техногенных источников ионизирующего излучения были размещены по 10 детекторов (на каждый сеанс) для измерения фоновой дозы природного излучения за период от окончания отжига детекторов до начала измерения на термомюинесцентном (ТЛ) ридере (эти периоды времени составляли от 47 до 120 ч).

Методика ТЛ-измерений детекторов, их калибровка и используемая аппаратура (система HARSHAW-3500) подробно описаны в работах [6–9]. Данные калибровки источников были сверены с результатами измерений в лабораториях GSF (Герма-

Таблица 2. Размещение детекторов на теле оператора

Позиция детектора	Локализация детектора
1	Указательный палец правой руки, вторая фаланга
2	Большой палец правой руки, первая фаланга
3	Средний палец правой руки, вторая фаланга
4	Мизинец правой руки, вторая фаланга
5	Кисть правой руки, внутренняя сторона ладони ближе к основанию пальцев
6	Большой палец левой руки, вторая фаланга
7	Кисть левой руки, внешняя сторона ладони ближе к основанию указательного пальца
8	На поверхности центральной части торса

Таблица 3. Результаты измерений

Сеанс измерений	Расположение детекторов на теле оператора	Поглощенная доза, мГр *	Доза в расчете на единицу суммарной активности источников и времени работы, мГр/(мин × МБк) × 10 ⁻⁶ *
1-й	1	0,081±0,010	0,46±0,081
	2	0,18±0,010	0,95±0,078\
	3	0,085±0,0081	0,46±0,063
	4	0,046±0,0042	0,25±0,032
	5	0,074±0,0014	0,39±0,011
	6	0,039±0,00070	0,21±0,070
	7	0,01±0,00040	0,053±0,0025
	8	0,014±0,00035	0,070±0,0025
2-й	1	0,046±0,0053	0,46±0,049
	2	0,085±0,0078	0,81±0,074
	3	0,039±0,0063	0,39±0,060
	4	0,031±0,0070	0,29±0,067
	5	0,034±0,00070	0,33±0,0070
	6	0,022±0,00070	0,22±0,0070
	7	0,0046±0,00070	0,042±0,0070
	8	0,0042±0,00070	0,039±0,0070
3-й	1	0,046±0,0039	0,46±0,039
	2	0,085±0,0067	0,85±0,067
	3	0,042±0,0028	0,42±0,028
	4	0,030±0,0056	0,30±0,056
	5	0,039±0,0018	0,39±0,018
	6	0,022±0,0011	0,22±0,011
	7	0,0060±0,0011	0,060±0,011
	8	0,0063±0,0018	0,063±0,018

* Приведенные дозы скорректированы с учетом повышенной эффективности детекторов в области малой энергии фотонного излучения ¹²⁵I (использован коэффициент уменьшения дозы — 2,84±0,04; см. текст); указана погрешность в 1σ. Жирным шрифтом отмечены наибольшая и наименьшая дозы облучения при максимальной суммарной активности используемых источников ¹²⁵I и максимальной длительности работы с ними.

ния), Хельсинского университета (Финляндия), Университета Дарэма (Великобритания), Хиросимского университета (Япония) и показали хорошее совпадение в рамках совместных дозиметрических исследований на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС и пострадавших при ядерных испытаниях на Семипалатинском полигоне [6—9].

Результаты

Результаты измерения локальных доз облучения оператора при проведении брахитерапии при-

ведены в табл. 3. Эти данные указаны с вычетом фоновой дозы природного излучения — измеренные мощности фоновой дозы составляют 0,077±0,002 мкГр/ч при хранении детекторов в алюминиевом пенале (2-й и 3-й сеансы измерений) и 0,119±0,003 мкГр/ч при их хранении вне пенала в лабораторном помещении (1-й сеанс измерений). Как следует из табл. 3, для всех 3 сеансов измерений максимальная поглощенная доза соответствует позиции 2 (большой палец правой руки), наименьшая доза — позиции 7 (внешняя сторона

ладони левой руки). Наибольшие дозы характерны для 1-го сеанса измерений (т.е. при наибольшей суммарной активности источников и длительности работы с ними; см. табл. 1).

Поглощенные дозы в расчете на единицу суммарной активности источников и времени работы оператора с источниками, выраженные в мГр/(мин × МБк), находятся в хорошей корреляции для трех сеансов измерений (см. табл. 3). Коэффициент линейной корреляции между парами последовательностей 3 различных сеансов измерений (сеансы 1—2, 1—3 и 2—3 в соответствии с данными табл. 1) равен 0,988, 0,995 и 0,996 соответственно, при отсутствии значимых систематических различий в данных. Статистическая достоверность полученных данных и высокая степень корреляции 3 сеансов независимых измерений свидетельствуют о надежности и доказательности полученной дозиметрической информации.

Обсуждение

Установлено (см. табл. 3), что даже при самой большой суммарной активности источников (1221 МБк) и наибольшей продолжительности работы персонала с ними без рентгеновских защитных перчаток максимальная доза составляет $0,18 \pm 0,01$ мГр (большой палец правой руки — это самый высокий уровень облучения) и $0,01 \pm 0,0004$ мГр (внешняя сторона ладони левой руки — наименьший уровень облучения), что согласно НРБ-99 [11] не представляет радиационной опасности даже при многократной работе с источниками. Действительно, по НРБ-99 пределы эквива-

лентной дозы для населения составляют 50 мЗв в год в кистях, стопах и коже. Для персонала групп Б и А эти пределы выше в 2,5 и 10 раз соответственно.

Представленные в табл. 3 нормализованные поглощенные дозы (на единицу суммарной активности источников и времени работы оператора с источниками) получены для различных локализаций — пальцев и ладони, поверхности торса. Эти данные могут быть использованы в дальнейшем для оценок ожидаемой дозы облучения оператора при использовании источников различной активности и работе с ними в течение разного времени.

Заключение

Результаты серии измерений поглощенных доз в наиболее облучаемых участках тела оператора (кожа пальцев и ладоней рук) позволяют сделать вывод об относительной радиационной безопасности персонала при использовании закрытых радиоактивных микроисточников ^{125}I в ходе проведения брахитерапии РПЖ. При этом авторы считают необходимым отметить важность соблюдения правил, изложенных в Методических указаниях 2.6.1.1017-01 [12].

Полученные дозы облучения персонала, нормированные на единицу активности источников и единицу времени работы оператора, можно применять и для иных работ с закрытыми терапевтическими микроисточниками ^{125}I . Наши исследования будут продолжены после накопления материала.

Литература

- Gebbaulet A., Potter R., Mazeron J. GEC ESTRO Handbook of brachytherapy. ACCO, Brussels; 2002.
- Цыб А.Ф., Шавладзе З.Н., Карякин О.Б. и др. Брахитерапия рака предстательной железы с использованием отечественных и зарубежных микроисточников ^{125}I . В кн.: Высокие медицинские технологии XXI века. Бениндром, Испания; 2005. с. 110—21.
- Radiation Safety Aspects of Brachytherapy for Prostate Cancer using Permanently Implanted Sources. ICRP Publication 98. Annals of the ICRP, Elsevier Ltd., 2005.
- Dillman L., Lage F. Radionuclide decay schemes and nuclear parameters for use in radiation-dose estimation. NM/MIRD Pamphlet No10, Medical Internal Radiation Dose Committee, Society of Nuclear Medicine. NY; 1975.
- Akselrod M.S., Kortov V.S., Kravetsky D.J. et al. Highly sensitive thermoluminescent anion-defective alpha- $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ single crystal detectors. Radiation Protection Dosimetry 1990;33(4):119—22.
- Bailiff I., Stepanenko V., Göksu H. et al. Comparison of retrospective luminescence dosimetry with computational modelling in two highly contaminated settlements downwind of the Chernobyl NPP. Health Physics 2004;86(1):25—41.
- Bailiff I., Stepanenko V., Göksu H. et al. Retrospective luminescence dosimetry: development of approaches to application in populated areas downwind of the Chernobyl NPP. Ibid 2005;89(3):233—46.
- Bailiff I., Stepanenko V., Göksu H. et al. The application of retrospective luminescence dosimetry in areas affected by fallout from the Semipalatinsk nuclear test site: An evaluation of potential. Ibid 2004;87(6):625—41.
- Stepanenko V., Hoshi M., Bailiff I. et al. Around Semipalatinsk nuclear test site: progress of dose estimations relevant to the consequences of nuclear tests. J Radiation Research 2006;47(Suppl A):A1-A13.
- Olko P., Bilski P., El-Faramawy N.A. et al. On the relationship between dose-, energy- and LET- response of thermoluminescent detectors. Rad Prot Dos 2006;119(1-4):15—22.
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1. 758 - 99. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М., Минздрав России; 1999.
- Обеспечение радиационной безопасности при внутритканевой лучевой терапии (брахитерапии) предстательной железы методом имплантации закрытого источника I-125, фиксированного на полимерной рассасывающейся нити "I-125 Rapid Strand". Методические указания. МУ 2.6.1.1017-01, М., ГГСВ РФ 09.02.01, 2001.