

В.Н. Яценко, Г.М. Аветисов, Д.И. Взоров, С.Л. Бурцев, О.В. Яценко, Е.С. Леонов
**ИССЛЕДОВАНИЯ ИНКОРПОРИРОВАННОГО В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА
РАДИОНУКЛИДА АМЕРИЦИЯ-241 С ПОМОЩЬЮ РАНЕВОГО ДЕТЕКТОРА**

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Владимир Наумович Яценко, e-mail: vlad-yatsenko@mail.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Разработка способа экспериментального исследования распределения радионуклида ^{241}Am в органах и тканях человека при его раневом поступлении для уточнения процесса формирования доз альфа-излучения.

Материал и методы: В клинической практике ФМБЦ им. А.И. Бурназяна с целью определения локальных участков содержания радионуклида в ране и последующего возможного его удаления и недопущения попадания в кровь проводятся измерения с помощью альфа-радиометра и раневого гамма-детектора. Для совершенствования метода определения радионуклида в ране был поставлен эксперимент по определению заглубления радионуклида на свиной коже с расположением точечных источников ^{241}Am за различной толщиной.

Результаты: Используемые методы измерения, апробированные на свиной коже, позволили получить зависимость глубины локализации радионуклида ^{241}Am от измеряемых соотношений фотонов с различными энергиями на глубине и на поверхности кожи.

Заключение: Установленная зависимость соотношения фотонов с различными энергиями от толщины барьера (заглубления), а также апробированная методика измерений позволяют перейти непосредственно к планированию экспериментальных исследований по влиянию барьера, создаваемого отложившимся в костной ткани материалом, включающем и ^{241}Am , на формирование дозы альфа-излучения на костный мозг.

Ключевые слова: раневое поступление, заглубление радионуклида в биологической ткани, поглощенная доза, альфа-излучение, распределение америция, раневой детектор

Для цитирования: Яценко В.Н., Аветисов Г.М., Взоров Д.И., Бурцев С.Л., Яценко О.В., Леонов Е.С. Исследования инкорпорированного в организм человека радионуклида америция-241 с помощью раневого детектора // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т.66. №6. С. 99–102

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-6-99-102

Введение

Данное исследование относится к дозиметрии внутреннего облучения альфа-излучающими радионуклидами, инкорпорированными в теле человека при их поступлении через раневые поверхности. В настоящее время накоплены обширные знания и разработаны модели оценки доз облучения при раневых поступлениях в организм трансураниевых радионуклидов [1–4]. Установлены коэффициенты перехода активности плутония, америция и урана из крови в печень и костную ткань. Однако эти коэффициенты используются строго только для разработанной модели. Существующие модели созданы на различном экспериментальном материале. Так, американская раневая модель NCRP [2] была разработана, в основном, на данных экспериментального облучения военнослужащих, имевших раневое поступление обедненного урана во время обстрела Югославии.

Применение этой модели при случаях раневого поступления плутония и америция в отечественной атомной промышленности невозможно в силу больших неопределенностей. Кроме того, необходимо учесть, что распределение радионуклида между скелетом и печенью на начальной стадии определяется формой вводимого соединения (мономер или полимер-коллоид) и связано с фагоцитарной активностью, которая формирует разную картину отложения и перераспределения вещества между печенью, богатой ретикулоэндотелиальными клетками, и скелетом. Крупные агрегаты, первоначально захваченные макрофагами, подвергаются разрушению или растворению. Часть этого материала попадает в кровь. В результате этого процесса происходит перераспределение радионуклида из печени в скелет. Вероятно, выведению плутония из печени способствует также радиационное повреждение клеток печени, которое приводит к их гибели и удалению радионуклида также в кровь. Этот процесс явно усили-

вается при значениях удельной активности плутония на уровнях ≈ 700 Бк/г. Кинетика перераспределения радионуклида в системе печень – скелет определяется также двумя дополнительными факторами: выведением плутония из печени с желчью с последующим удалением радионуклида из организма через ЖКТ и снижением выведения плутония из тканей скелета вследствие облучения последних.

Отложившийся в кости плутоний распределяется неравномерно. Большая часть радиоактивного вещества задерживается на эндостальных поверхностях, в периосте, красном костном мозге. Значительно меньшие удельные активности радионуклида наблюдаются в минеральных участках кости.

С течением времени происходит выравнивание активности радионуклида в объеме кости, что является следствием перестройки и образования новой кости [5].

Часть поверхностно отложившегося радионуклида оказывается замурованной в более глубоких слоях, тем самым снижая скорость выведения плутония из скелета [5].

Процесс формирования доз альфа-облучения костных тканей и костного мозга зависит от количества и плотности этих отложений, то есть от параметров, существенно влияющих на пробеги альфа-частиц.

Одной из возможностей исследования реальных перераспределений в настоящее время может служить попытка изучения этих процессов в образцах органов человека с использованием специальных измерительных устройств. Для решения этой задачи нужен способ экспериментального исследования распределения альфа-излучающих радионуклидов в мягкой ткани и кости.

Предварительным этапом, который может послужить разработке подхода к исследованию реального распределения радионуклида америция в костной ткани, является проведение измерений с использованием раневого детектора для определения заглубления радионуклида америция-241 в мягких тканях человека.

Практика обследования пациента и оценки доз по данным измерений на установках СИЧ оказалась полезной для планирования новых исследований, касающихся тонкой структуры распределения в организме человека инкорпорированных радионуклидов и геометрии облучения биологической ткани и состава костного мозга.

Рассмотрим процесс формирования дозы на костный мозг за счет альфа-излучения [1]:

- альфа-частицы имеют короткий пробег в кости и биологической ткани (меньше 50 мкм при $E_\alpha=5,5$ МэВ);
- радионуклиды, попавшие в кровь, задерживаются на эндостальных поверхностях, в периосте, красном костном мозге, участвуя в перестройке и образовании новой кости, причем часть поверхностно отложившегося радионуклида оказывается замурованной в более глубоких слоях, что увеличивает барьер перед костным мозгом, в котором происходит поглощение (самопоглощение) альфа-излучения, уменьшая, таким образом, дозу на костный мозг;
- определение толщины этого барьера и зависимости от времени накопления радионуклида в организме позволяет получить динамический коэффициент, учитывающий снижение дозы на костный мозг со временем;
- определение заглубления радионуклида в костной ткани позволяет найти расстояние между расположенным радионуклидом и поверхностью костного мозга (грубо толщину поглощающего барьера);
- для проведения таких исследований необходимо разработать метод измерения с высокой разрешающей способностью структур, определяющих поглощение альфа-излучения.

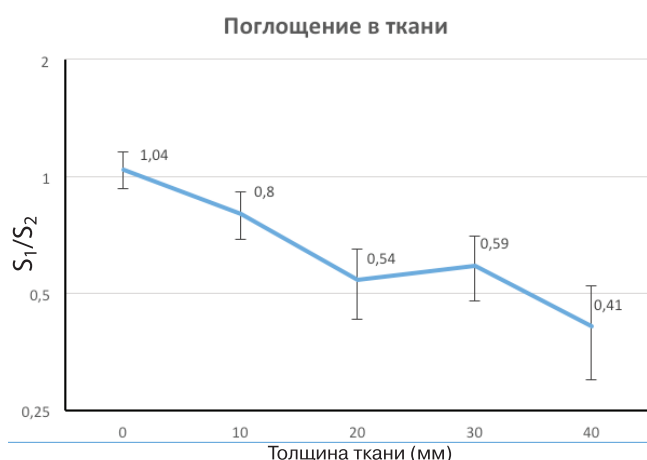


Рис. 1 Зависимость соотношения потока фотонов с различными энергиями от толщины барьера (заглубления).
Fig. 1 Dependence of the ratio of photons with different energies on the thickness of the barrier (deepening)

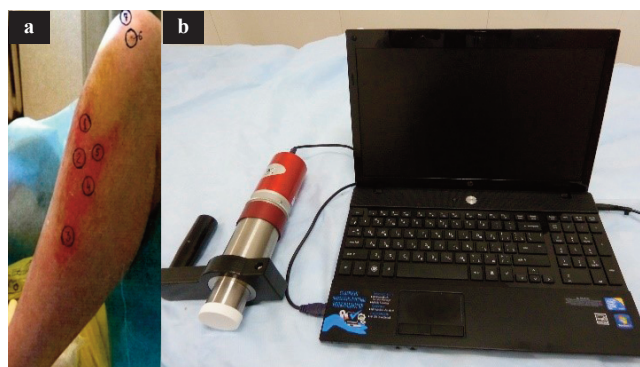


Рис. 2 а. – Нога пациента, б. – Раневой детектор (гамма-спектрометр OSPREY-LE фирмы КАНБЕРРА)
Fig. 2 а. – Patient's leg, б. – Wound detector (CANBERRA OSPREY-LE gamma-spectrometer)



Рис. 3 – Радиометр MKC-01P с альфа-датчиком БДКА-01P
Fig. 3 – Radiometer MKS-01R with alpha-sensor BDKA-01R

Материал и методы

Чтобы приступить непосредственно к разработке такого метода были поставлены предварительные экспериментальные исследования на свиной коже с использованием раневого детектора и источника америция-241;

Свиная кожа была нарезана на слои, толщиной 10, 20, 30 и 40 мм. Под каждый слой закладывался источник америция-241. Перезакладка источника и повторные измерения для каждого слоя проводились по 5 раз. Детектор спектрометра находился сверху над кожей перпендикулярно поверхности кожи.

Заглубление радионуклида в коже определялось по соотношению потока гамма-излучения в области энергий 12–18 кэВ и гамма-излучения с энергией 59,5 кэВ, определяемого с помощью раневого детектора.

На рис. 1 представлена зависимость соотношения энергий гамма-излучения S_1 , (12–18 кэВ) и S_2 , (59,5 кэВ) радионуклида америция-241 от его заглубления в мягкую ткань. В данном случае можно использовать полученную зависимость для определения локализации радионуклида ^{241}Am при раневых поступлениях.

Таблица 1

Результаты измерений по альфа- и гамма- излучению ^{241}Am
Measurement results for alpha and gamma radiation ^{241}Am

Номер точки	09.06.2016		14.06.2016	
	Активность Бк	α -част/(мин см ²)	α -част/(мин см ²) (до смыва)	α -част/(мин см ²) (после смыва)
1	1560	1570	1500	504
2	1325	1900	1100	890
3	975	1150	430	604
4	1065	1005	590	294
5	1820	2050	422	370
6	*2850/2100	4000/3900	3300	1400
7**	—	—	2500	2100

Примечание: *До иссечения/после иссечения;

**Область не подвергалась действию кислоты

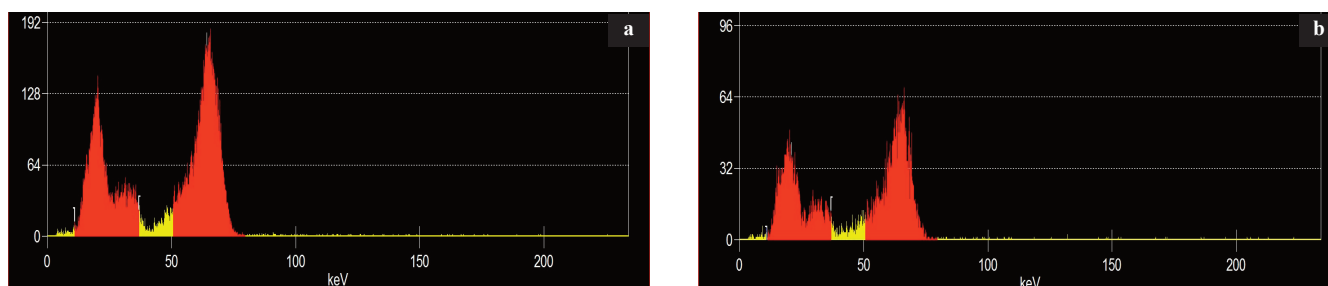


Рис. 4. Энергетический спектр колена (А, $S_1=1557$, $S_2=2304$); энергетический спектр голени (Б, $S_1=4479$, $S_2=7361$)
 Fig. 4. Energy spectrum of the knee (A, $S_1 = 1557$, $S_2 = 2304$); energy spectrum of the lower leg (B, $S_1 = 4479$, $S_2 = 7361$)

Полученные данные позволяют определять заглубление радионуклида в мягкой ткани. Это необходимо знать для иссечения тканей с активностью хирургическим путем.

Рассмотрим как пример обследование работника одного из предприятий г. Северска, электросварщика, вовлеченного в аварийный инцидент, получившего ожог голени кислотой. Измерения загрязнения осуществлялись с помощью альфа-радиометра МКС-01-Р и раневого детектора гамма-спектрометра OSPREY-LE фирмы КАН-БЕРРА (см. рис. 2, рис. 3).

На рис. 4 приведен энергетический спектр гамма-излучения радионуклида ^{241}Am , измеренный в одной из точек колена и голени, соответственно (см. рис. 2а).

Результаты измерений приведены в табл. 1.

Для дальнейшего развития этого метода необходимо провести более тщательно с помощью микротома нарезку биологических материалов (мягкой ткани и костной ткани), попытаться использовать имеющиеся энергии фотонов в низкой области энергетического спектра радионуклида ^{241}Am , чтобы перейти к микронной структуре.

Заключение

Установленная зависимость соотношения фотонов с различными энергиями от толщины барьера (заглубления), а также апробированная методика позволяют перейти непосредственно к планированию экспериментальных исследований по влиянию барьера, создаваемого отложившимся в костной ткани материалом, включающем и радионуклид, на формирование дозы альфа-излучения на костный мозг.

Radiation physics, engineering and dosimetry

Medical Radiology and Radiation Safety. 2021. Vol. 66. № 6. P. 99–101

Conducting Studies of the Am-241 Radionuclide Incorporated into the Human Body Using a Wound Detector

V.N. Yatsenko, G.M. Avetisov, D.I. Vzorov, S.L. Burtsev, O.V. Yatsenko, E.S. Leonov

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia.

Contact person: Vladimir Naumovich Yatsenko, e-mail: vlad-yatsenko@mail.ru

ABSTRACT

Purpose: to develop a method for experimental study of the distribution of radionuclide ^{241}Am in human organs and tissues during wound admission to clarify the process of formation of doses of alpha radiation.

Material and methods: in clinical practice of Burnazyan FMBC of the FMBA of Russia. To improve the method of determination, an experiment was performed to determine the depth of radionuclide on pigskin with the location of ^{241}Am point sources behind different thicknesses.

Results: the used methods of measurement, tested on pigskin, allowed to obtain the dependence of the localization depth of radionuclide ^{241}Am on the measured on the surface of the tissue ratios of photons with different energies.

Conclusion: Set the ratio of photons with different energies on the thickness of the barrier (depth), and proven methodology allow you to go directly to the planning of experimental studies on the barrier effect created in the bone material, and including a radionuclide, the formation of doses of alpha radiation on the bone marrow.

Key words: Wound entry, deepening of the radionuclide in biological tissue, absorbed dose of alpha radiation, distribution of americium in organs and tissues, wound gamma spectrometer

For citation: Yatsenko VN, Avetisov GM, Vzorov DI, Burtsev SL, Yatsenko OV, Leonov ES. Conducting Studies of the Am-241 Radionuclide Incorporated into the Human Body Using a Wound Detector. Medical Radiology and Radiation Safety. 2021;66(6):99–101.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-6-99-101

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Москалев Ю.И. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 264 с.
2. Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-Contaminated Wounds and Procedures for Their Assessment, Dosimetry and Treatment. NCRP, 2006. REPORT No. 156.
3. Калистратова В.С., Беляев И.К., Жорова Е.С., Парфенова И.М., Тищенко Г.С. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов / Под ред. Калистратовой В.С. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. 2016. 556 с.
4. Калистратова В.С., Беляев И.К., Жорова Е.С., Нисимов П.Г., Парфенова И.М., Тищенко Г.С., Цапков М.М. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов / Под ред. Калистратовой В.С. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. 2012. 464 с.
5. «Плутоний. Радиационная безопасность», под общей редакцией академика Л.А. Ильина. М.: Изд. АТ, 2005 – 416 с, глава 3.

REFERENCES

1. Moskaev Yu.I. Radiobiology of Incorporated Radionuclides. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 264 p.
2. Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-Contaminated Wounds and Procedures for Their Assessment, Dosimetry and Treatment. NCRP, 2006. REPORT No. 156.
3. Kalistratova V.S., Belyaev I.K., Zhorova E. S., Parfenova I.M., Tishchenko G.S. Radiobiology of incorporated radionuclides. Ed. Kalistratova V.S. Moscow, Burnazyan FMBC FMBA Publ., 2016. 556 p.
4. Kalistratova V.S., Belyaev I.K., Zhorova E. S., Nisimov P.G., Parfenova I.M., Tishchenko G.S., Tsapkov M.M. Radiobiology of incorporated radionuclides. Ed. Kalistratova V.S. Moscow, Burnazyan FMBC FMBA Publ., 2012. 464 p.
5. Ed. Ilyin L.A. Plutonium. Radiation safety. Moscow, IzdAt Publ., 2005. 416 p. chapter 3.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 16.09.2021. Принята к публикации: 22.10.2021.

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

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 16.09.2021. Accepted for publication: 22.10.2021.