

КОСТНАЯ СИСТЕМА – ЕЩЕ ОДНО ДЕПО ИЗОТОПОВ ЙОДА

© 2021 г. Н.П. Лысенко, Л.В. Рогожина, Л.А. Ромодин, И.И. Ковалев

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина,
109472, Москва, ул. Академика Скрябина, 23

E-mail: rla2904@mail.ru

Поступила в редакцию 10.04.2021 г.

После доработки 13.05.2021 г.

Принята к публикации 18.05.2021 г.

Гамма-спектрометрическим методом показано, что при поступлении в организм крыс радиоактивного изотопа ^{125}I он активно накапливается не только в щитовидной железе, но и в костях. Уровень активности ^{125}I в костной ткани оказался вполне сравнимым с таковой по ^{90}Sr , для которого костная ткань является критической. Несмотря на то что удельная радиоактивность ^{125}I в костях существенно ниже, чем в щитовидной железе, гораздо большая масса костного аппарата обуславливает высокий уровень облучения красного костного мозга. При авариях на объектах атомной промышленности вместе с ^{125}I в атмосферу попадает и ^{131}I , который является не только γ -излучателем, но и жестким β -излучателем – ведущим дозообразующим радионуклидом в первый послеаварийный период. В связи с этим результаты, полученные по ^{125}I , вполне сопоставимы с ^{131}I в силу идентичности характера их распределения в организме животных и человека.

Ключевые слова: распределение йода, крысы, гамма-спектрометрия, инкорпорированное облучение, ионизирующее излучение.

DOI: 10.31857/S0006302921050185

Восприимчивость костной системы к действию ионизирующей радиации двойка: красный костный мозг является одним из наиболее чувствительных органов. Морфологически регистрируемые изменения в нем наблюдаются уже при поглощенной дозе излучения, равной 0.25 Гр [1, 2], в то время как по данным авторов работы [3] сама по себе костная ткань резистентна к радиации и относится к группе низкочувствительных органов и тканей. Известно, что кости являются критическим органом для изотопов стронция, проявляющего антагонистические свойства относительно кальция [4–6]. Поэтому при радиационных авариях, подобных той, что произошла на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г., контрмеры по снижению негативных последствий для опорно-двигательной системы разрабатывались в свете недопущения накопления в костях стронция [7]. В то же время в ранние сроки после радиационных аварий основными дозообразующими радионуклидами являются изотопы йода, для которых критическим органом является щитовидная железа [8–10].

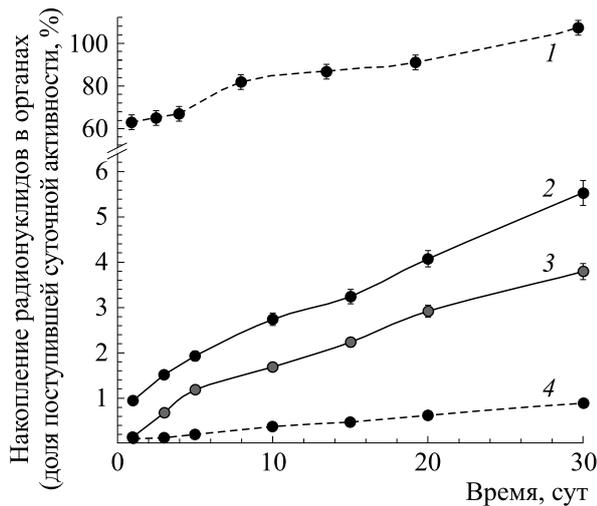
В настоящей работе нами методом гамма-спектрометрии на экспериментальной модели (крысы *Rattus norvegicus* линии *Wistar*) было показано, что ^{125}I накапливается не только в щитовид-

ной железе, но и значительно откладывается в костной системе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве экспериментальной модели были использованы крысы *Rattus norvegicus* линии *Wistar* массой 190–200 г в количестве 35 особей. С целью поступления одинаковой радиоактивности каждой крысе дважды в сутки (утром и вечером) скармливали сухарики из пшеничного хлеба, пропитанные раствором, содержащим ^{90}Sr активностью 377.5 Бк/г в виде $^{90}\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ и ^{125}I активностью 2533.5 Бк/г в виде Na^{125}I . Суммарная радиоактивность сухарика составляла 2911 Бк. Суммарное суточное поступление радионуклидов в организм крысы составило: ^{90}Sr – 755 Бк/крысу, ^{125}I – 5067 Бк/крысу. Суточная активность, поступающая с кормом, составляла 5822 Бк/крысу.

Несмотря на то что среди изотопов йода, выпавших в результате радиоактивных выбросов при авариях на объектах радиационной промышленности, основную долю составляет ^{131}I [11], нами был использован ^{125}I в силу того, что он имеет больший период полураспада (60 суток против



Накопление йода в органах крыс в сравнении с накоплением стронция в костях: 1 – накопление ^{125}I в щитовидной железе, 2 – накопление ^{90}Sr в костях, 3 – накопление ^{125}I в костях, 4 – накопление ^{125}I в мышцах.

8.3 суток у ^{131}I [12]), что облегчает его использование в научных исследованиях. Кроме того, ^{125}I является мягким γ -излучателем, более безопасным для исследователей и причиняющим меньшие страдания лабораторным животным (требование Директивы 2010/63/EU о правах лабораторных животных), чем ^{131}I – жесткий γ - и β -излучатель [11]. Что же касается адекватности результатов исследования, то они полностью переносимы на ^{131}I в силу идентичности характера распределения ^{125}I и ^{131}I в организме животных и человека [7, 11].

Для оценки содержания радионуклидов стронция и йода в организме крыс проводили эвтаназию лабораторных животных с использованием CO_2 -камеры. Эвтаназии подвергали по пять крыс из исследуемой группы через 1, 3, 5, 10, 15, 20 и 30 суток после начала эксперимента. Далее животных препарировали и брали для исследований: 1) костную ткань как критическую для ^{90}Sr [4, 8]; 2) мышцы, составляющие основную массу животного; 3) щитовидную железу как критический орган для изотопов йода [8]. Для измерения удельной активности нативные образцы тканей и органов взвешивали и помещали в пластиковые пробирки. Измерение активности ^{125}I в щитовидной железе, мышечной ткани и костях проводили на гамма-счетчике «Мультигамма 1261» (LKB, Швеция) с фирменным программным обеспечением. Удельную бета-активность в костной ткани определяли методом бета-спектрометрического анализа с применением Радиоспектрометрического комплекса с программным обеспечением

«Прогресс-320» (ООО НПП «Доза», Россия). В качестве исследуемого образца для бета-спектрометрического измерения удельной радиоактивности мы брали бедренные кости, по две от каждой особи. По каждой группе проводили физическое усреднение. Для приготовления счетных образцов использовали метод сухой минерализации. Метод основан на полном разложении органических веществ путем термической обработки пробы и состоит из высушивания, обугливания и озоления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гамма-спектрометрические исследования активности ^{125}I показали, что в щитовидной железе как критическом органе накапливается наибольшее количество данного радионуклида (рис. 1), в то время как ^{90}Sr максимально накапливается в костной ткани, что полностью соответствует литературным данным [7–9].

Вместе с этим отмечены довольно существенные значения активности йода в костной ткани, причем более высокие по сравнению с мышечной во все сроки исследования. Динамика накопления ^{125}I в костной ткани повторяет таковую для ^{90}Sr , но на более низком уровне (рис. 1).

Из данных, представленных на рис. 1, следует, что костную систему можно вполне считать депо для изотопов не только стронция, но и йода: кривая накопления йода в костях повторяет таковую для стронция, а значения процентной доли активности от суточного поступления в костях для ^{125}I не сильно отличаются от таковых для ^{90}Sr , значительно превосходя это значение для ^{125}I в мышцах. При этом необходимо отметить, что процентная доля накопления йода в костях более чем в десять раз ниже по сравнению с щитовидной железой. Тем не менее полученные данные свидетельствуют о том, что накопление изотопа йода в костях значительно. Это необходимо учитывать при разработке контрмер для защиты опорно-двигательного аппарата в случае радиационных загрязнений местности. С этой целью следует проводить профилактические и терапевтические мероприятия не только по снижению поступления радиоактивного стронция в костную ткань, но и радиоактивных изотопов йода.

Несмотря на то что удельная активность по ^{125}I в щитовидной железе существенно выше, чем в костях, накопление в них йода весьма значительно ввиду гораздо большей массы костного аппарата в сравнении с массой щитовидной железы. В связи с этим, общая радиоактивность йода в костях значительно превышает таковую в щитовидной железе, что обуславливает необходимость корректировки

расчета доз внутреннего облучения, в особенности — для красного костного мозга.

Поскольку ^{131}I является не только γ -, но и β -излучателем и составляет существенную долю в аварийных выпадениях, необходимо уточнение дозы облучения как по γ -, так и по β -излучению. Данные по накоплению ^{125}I в костях и щитовидной железе валидны для ^{131}I , так как изотопы одного элемента абсолютно одинаково распределяются в организме [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования достоверно установлен значительный уровень накопления ^{125}I в костном аппарате крыс, вполне сравнимый с таковым для ^{90}Sr , для которого костный аппарат является критическим. И хотя уровень удельной активности ^{125}I в костях был существенно ниже, чем в щитовидной железе, считающейся критическим органом для изотопов йода, костный аппарат также можно вполне считать критическим для радиоактивного йода. Если при этом учитывать факт, что масса костей в организме существенно выше, чем масса щитовидной железы, получаем довольно высокий уровень общей активности ^{125}I в костях. Существенное накопление радиоактивного йода в костях означает ощутимый риск для красного костного мозга, особо чувствительного к действию ионизирующего излучения. Данный вывод делает необходимой корректировку при расчете доз облучения красного костного мозга, а также — профилактики и терапии радиационных поражений, вызванных внутренним облучением.

Skeletal System as an Additional Storage System for Iodine Isotopes

N.P. Lysenko, L.V. Rogozhina, L.A. Romodin, and I.I. Kovalev

K.I. Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology,
ul. Akademika Skryabina 23, Moscow, 109472 Russia

Using the gamma-spectrometric method, we found that the radioactive isotope ^{125}I , entering the body of rats, actively accumulated not only in the thyroid gland, but also in the bones. The ^{125}I activity level in bone tissue was quite comparable to that of ^{90}Sr , for which bone tissue is critical. Although the specific radioactivity of ^{125}I in bones is significantly lower than in the thyroid gland, great mass of bone tissue in the skeleton underlies a high level of radiation to the red bone marrow. From nuclear power facilities, along with an accidental release of ^{125}I , ^{131}I , which is not only a gamma but also a beta emitter, a leading radionuclide in dose formation during the first days after the accident, also releases to the environment. In this regard, the results obtained for ^{125}I are quite comparable to data on ^{131}I in terms of identical nature of their distribution in animals and humans.

Keywords: iodine distribution, rats, gamma-ray spectrometry, incorporated irradiation, ionizing radiation

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Все авторы настоящей статьи заявляют, что не имеют конфликта интересов касательно материалов, представленных в работе.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все применимые международные, национальные и институциональные принципы ухода и использования животных при выполнении работы были соблюдены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. С. Тиганов, в сб. «Матер. I Всесоюз. науч. конф. молодых ученых по с.-х. радиологии» (Обнинск, 1983).
2. P. Feyer, O. Titlbach, and F. Hoffman, *Folia Haemat (DDR)* **116** (3–4), 87 (1989).
3. Б. Б. Мороз и С. П. Гроздов, *Мед. радиология* **5** (2), 46 (1960).
4. И. Я. Василенко и О. И. Василенко, *Энергия: экономика, техника, экология* **4**, 26 (2002).
5. В. Ф. Журавлёв, *Токсикология радиоактивных веществ* (Энергоатомиздат, М., 1990).
6. Ю. И. Москалёв, *Радиобиология инкорпорированных радионуклидов* (Энергоатомиздат, М., 1989).
7. В. С. Калистратова, И. К. Беляев, Е. С. Жорова и др., *Радиобиология инкорпорированных радионуклидов* (ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, М., 2016).
8. J. Zhou, G. Cheng, H. Pang, et al., *Bosnian J. Basic Med. Sci.* **18** (4), 305 (2018).
9. R. Samadi, B. Shafiei, F. Azizi, and A. Ghasemi, *Cell J.* **19** (2), 184 (2017).
10. S. Feitelberg, P. E. Kaunitz, L. R. Wasserman, and S. B. Yohalem, *Am. J. Med. Sci.* **216**, 129 (1948).
11. Б. Н. Анненков, А. В. Егоров и Р. Г. Ильязов, *Радиационные аварии и ликвидация их последствий в агроффере* («ФЭН», АН РТ, Казань, 2004).
12. В. А. Бударков, В. А. Киршин и А. Е. Антоненко, *Радиобиологический справочник* (Ураджай, Мн., 1992).