

РАДИОХИМИЯ**РАЗЛИЧИЯ В ДЕПОНИРОВАНИИ ОСТЕОТРОПНОГО РАДИОАКТИВНОГО ИЗОТОПА СТРОНЦИЯ-90 В КОСТЯХ СКЕЛЕТА****Томусяк Михаил Владимирович**

*оператор роты (научной),
Федеральное государственное бюджетное
военное образовательное учреждение высшего образования
«Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова»
Министерства обороны Российской Федерации,
РФ, г Санкт – Петербург
E-mail: tomusyak.mkhail@rambler.ru*

Соколов Иван Русланович

*мл. науч. сотр.,
Федеральное государственное бюджетное
военное образовательное учреждение высшего образования
«Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова»
Министерства обороны Российской Федерации,
РФ, г Санкт – Петербург*

Горюнов Максим Андреевич

*оператор роты (научной),
Федеральное государственное бюджетное
военное образовательное учреждение высшего образования
«Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова»
Министерства обороны Российской Федерации,
РФ, г Санкт – Петербург*

Колесников Александр Сергеевич

*оператор роты (научной),
Федеральное государственное бюджетное
военное образовательное учреждение высшего образования
«Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова»
Министерства обороны Российской Федерации,
РФ, г Санкт – Петербург*

**DIFFERENCES IN DEPOSIT OF OSTEOTROPIC RADIOACTIVE STRONTIUM-90 ISOTOPE
IN SKELETON BONES****Mikhail Tomusyak**

*Company operator (scientific),
Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education
“Military Medical Academy named after S.M. Kirov”
of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
Russia, St. Petersburg*

Ivan Sokolov

*Junior Researcher,
Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education
“Military Medical Academy named after S.M. Kirov”
of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
Russia, St. Petersburg*

Maxim Goryunov

*Company operator (scientific),
Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education
“Military Medical Academy named after S.M. Kirov”
of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
Russia, St. Petersburg*

Alexander Kolesnikov

*Company operator (scientific),
Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education
“Military Medical Academy named after S.M. Kirov”
of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
Russia, St. Petersburg*

АННОТАЦИЯ

При попадании в организм остеотропные радионуклиды приводят к хроническому облучению организма в течении жизни. В исследовании по распределению радиоактивного изотопа стронция-90 в организме выявлены статистически значимые различия при количественном распределении среди семейства грызунов радиоактивного нуклида стронций-90 в костях скелета. Для оценки распределения был применён метод семейного анализа. Получены статистически значимые данные о повышенном уровне депонирования стронция-90 в костях скелета мышей при соблюдении ими строгой монодиеты.

ABSTRACT

When injected into the body, osteotropic radionuclides lead to chronic exposure of the body throughout life. In a study on the distribution of the radioactive isotope of strontium-90 in the body, statistically significant differences were found in the quantitative distribution of the radioactive nuclide strontium-90 in the bones of the skeleton among the families of rodents. The family analysis method was used to assess the distribution. Statistically significant data were obtained on an increased level of strontium-90 deposition in the skeletal bones of mice on a strict mono diet.

Ключевые слова: радионуклиды, стронций-90; метод семейного анализа; депонирование стронция-90; остеотропный механизм.

Keywords: strontium-90; family analysis method; deposit of strontium-90; osteotropic, radionuclide.

Одним из основных радионуклидов при делении ядер в реакторах, применении ядерного оружия или при техногенных авариях, связанных с выбросом радиоактивных изотопов, является стронций-90 (^{90}Sr). Стронций – 90 является долгоживущим остеотропным радиоактивным изотопом с периодом полураспада порядка 29 лет. Стронций - 90 радионуклид, который характеризуется избирательной кумуляцией в костной ткани из-за высокого сродства с кальцием [5, 8], как позвоночных животных, так и человека. При поступлении в организм накапливается порядка 80% проникшего в кровь радиоактивного вещества [3]. В организме инкорпорированный стронций является источником внутреннего облучения организма, что в свою очередь, приводит к риску развития лучевой болезни и отдаленным последствиям облучения, например, мутациям [2]. Кинетика стронция - 90 в организме может отличаться в зависимости от индивида в результате генетических особенностей организма и насыщения скелета стабильным кальцием, однако это не отменяет факта его депонирования в костной ткани в том или ином количестве [7]. Так, например, основным дозаобразующим элементом на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) являлся стронций - 90, который поступал к жителям прибрежных сёл реки Теча с загрязнённой водой и пищей в организм. Однако распределение вещества внутри организма отдельных людей из разных семей, проживающих на

территории прибрежных сёл реки Теча, различалось, при схожих социально-экономических условиях быта и проживания [6].

Цель работы – оценка кинетики распределения стронция – 90 в организме млекопитающих.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта для исследования в работе использовались лабораторные мыши линии C57BL/6 (Инбредные, разводимые в питомнике «ПУЩИНО» 142290 Россия, Московская обл., г. Пущино, пр. Науки, 6. Основные области использования данной линии мышей: физиологические или патологические модели для экспериментов *in vivo*, в качестве основной линии для генерации спонтанных и индуцированных мутаций, для создания трансгенных моделей мышей. При изучении заболеваний сердечно-сосудистой системы и эндокринных заболеваний.) На данных мышях (учитывая семейную принадлежность животных) была исследована кинетика стронция-90 в скелете при однократном введении вещества.

Стронций-90 был введён мышам (линии C57BL/6) во внутрь брюшины за месяц (4 недели) до умерщвления. Содержание радионуклида (^{90}Sr) в инъекции было во много раз ниже дозы, вызывающей сильные токсические эффекты. В свою очередь, доза облучения от инкорпорированного стронция не нарушала процессов жизнедеятельности организма. Животные

контрольной группы имели стандартный рацион. В свою очередь, опытная группа животных была поставлена на несбалансированную диету (овсяную монофагию), что приводит к уменьшению массовых

и ростовых параметров и не создает помех для встраивания стронция-90 в костную ткань. Различия возраста при умерщвлении в контрольной и опытной группе составляло не более одного месяца (табл. 1).

Таблица 1.

Возрастные кластеры семей между экспериментальными группами мышей линии C57BL/6 при изучении распределения стронция-90

Семья №	Группа	Возраст на момент исследования
1-20	Контроль	8 недель
	Монофагия	
21-50	Контроль	
	Монофагия	
51-70	Контроль	12 недель
	Монофагия	
71-80	Контроль	
	Монофагия	

При статистическом подсчёте вероятность ошибочного отклонения была равна 1-му уровню значимости: $\alpha \leq 0,05$ (5% уровень значимости). Также была использована многофакторная модель дисперсионного анализа с учётом иерархии данных (факторы: «пол», «возраст», «группа»). Также в группах учитывалось количество семей, как случайный фактор Ковариата (в качестве сопутствующей независимой переменной) «количество помёта» включено в анализ, так как число детёнышей в помете может влиять на изменение массовых показателей грызунов [9]. Для оценки показателей наследственной изменчивости интересных признаков использовали коэффициент внутрикласовой корреляции (R), который представлял отношение показателей дисперсии случайного фактора «семья» к полной дисперсии. При описании данных применяли стандартную ошибку среднего, квартиль, медиану и среднее значение. При помощи t-критерия Стьюдента оценивали значимость различий между выборками, а по F-критерию различие в массе. Обработку статистических данных выполняли в программном пакете Statistica 10,0 (StatSoft Inc.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты проведённого дозиметрического анализа костной ткани, а также массовые показатели животных представлены в таблице 2. Как и следовало ожидать, мыши с моделью питания «монофагия» (овсяная монодиета) имели размеры тела меньше, чем у контрольной группы без нарушения пропорций тела. Так, у мышей на модели питания монофагия наблюдается значимое, относительно контрольной группы, уменьшение массы тела и как следствие костей по F - критерию. При возрасте 2 месяца – $F(1,297) = 869,1$ и $F(1,297) = 730,2$. В возрасте 3 месяца – $F(1,129) = 379,8$ и $F(1,29) = 379,8$. Значимые различия массы тела присутствуют и при сравнении групп разного возраста, так $F-(1;241) = 339,2$; масса бедренных костей — $F(1;241) = 339,2$; при сравнении опытных групп друг с другом — $F(1;185) = 43,2$ и $F(1;185) = 65,6$ соответственно.

Таблица 2.

Распределение стронция-90 в костной ткани мышей линии C57BL/6 и массовые характеристики животных

Возраст на момент эвтаназии	Группа	Пол	n	Масса, г		90Sr, Бк/г
				Бедренные кости	Тело	
1 – 2 мес	Контроль - 1	Самцы	93	0,1031 ± 0,001	18,9±0,2	889±23
		Самки	71	0,0970 ± 0,001	16,1±0,1	995±25
		Самцы и самки	167	0,0999± 0,001	17,5±0,2	934±16
	Опыт - 1	Самцы	63	0,0738± 0,001	11,9±0,2	1639±36
		Самки	70	0,0723± 0,001	11,7±0,1	1580±33
		Самцы и самки	134	0,0726± 0,001	11,5±0,1	1607±25

Возраст на момент эвтаназии	Группа	Пол	n	Масса, г		90Sr, Бк/г
				Бедренные кости	Тело	
2 – 3 мес	Контроль – 2	Самцы	50	0,1204± 0,001	23±0,4	607±10
		Самки	32	0,1179± 0,001	20,1±0,2	703±14
		Самцы и самки	82	0,1197± 0,001	21,6±0,3	642±9
	Опыт-2	Самцы	20	0,0895± 0,001	14,9±0,3	1170±70
		Самки	35	0,0836± 0,001	13,2±0,3	1319±56
		Самцы и самки	52	0,0859± 0,001	13,5±0,3	1267±46

Исходя из данных таблицы, наблюдается значительное снижение количества депонирования стронция-90 с возрастом. Так, в контрольной группе 1 у самцов и самок, активность инкорпорированного стронция-90 составляет 934±16 Бк/г, а в контрольной группе 2 - 642±9 Бк/г. В опытных группах наблюдается та же тенденция к снижению содержания инкорпорированного стронция, так в опытной группе – 1 удельная активность стронция-90 составляет 1607±25 Бк/г, а в опытной группе 2, соответственно: 1267±46 Бк/г. У животных на модели питания «монофагия» содержание стронция выше, чем у опытной группы.

Влияние пола на распределение стронция-90 выявлено только в контрольных группах, что требует дополнительных исследований.

Коэффициент вариации концентрации радиоактивного изотопа стронция-90 составляет 12–26%. Частные показатели по процентному содержанию стронция-90 в контрольных группах попадают в разброс с показателями в опытных группах. Соответственно размах частых показателей перекрывает групповые.

Компонента дисперсии стронция-90 внутри семей значима ($p < 0,0001$).

Корреляция внутри семей для массы бедренных костей составляет 0,442 и 0,477.

ВЫВОДЫ

В результате исследования распределения радиоактивного изотопа стронция-90 была выявлена, наследственная детерминация метаболизма, обусловленная значимой корреляцией показателей дозиметрии. Межгрупповые различия в распределении стронция-90 связаны в первую очередь с различием возрастов и обусловлены овсяной монодиетой контрольной группы, что в свою очередь соответствует данным других авторов об изменении поведения остеотропных радионуклидов под влиянием эндогенных и экзогенных факторов. Влияние пола животных на накопления стронция-90 требует дополнительных исследований.

Метаболизм стронция-90 в скелете мышей наследственно (внутри семьи) обусловлен; так как наследственная компонента изменчивости морфологических характеристик лежит в пределах 0,4–0,5 ($p \leq 0,0001$). Полученные данные представляют большой интерес при экстраполяции на человека и объясняют различие в депонировании радионуклида среди представителей разных семей при схожих социально-экологических условиях проживания.

Список литературы:

1. Гладков С.А., Болдинов А.И., Попов Е.А. Последствия поступления в организм отдельных радионуклидов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2011. №1 (2). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/posledstviya-postupleniya-v-organizm-otdelnyh-radionuklidov> (дата обращения: 04.09.2021).
2. Дударенко С. В., Лопатин С. Н., Леонтьев О. В. Патология верхних отделов желудочно-кишечного тракта у жителей радиоактивно загрязненных территорий под воздействием фактора аварии на Чернобыльской атомной электростанции // Экология человека. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/patologiya-verhnih-otdelov-zheludочно-kishechnogo-trakta-u-zhiteley-radioaktivno-zagryaznennyh-territoriy-pod-vozdeystviem-faktora> (дата обращения: 04.09.2021).
3. Каблова К. В., Левина С. Г. Накопление и распределение долгоживущих радионуклидов 90Sr, 137Cs и органического вещества в почвенном компоненте экосистемы озера Малые Кирпичики // Вестник ЮУрГТТУ. 2013. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-i-raspredelenie-dolgozhivuschih-radionuklidov-90sr-137cs-i-organicheskogo-veschestva-v-pochvennom-komponente-ekosistemy> (дата обращения: 13.09.2021).
4. Кlich Л. В., Тупицкая О. Н., Курбатова И. Н. Пути уменьшения накопления стронция в организме животных // Ukrainian Journal of Ecology. 2013. №2 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-umensheniya-nakopleniya-strontsiya-v-organizme-zhivotnyh> (дата обращения: 04.09.2021).
5. Мирончик А. Ф. Выпадение, содержание в продукции и поступление 90Sr и 137Cs глобальных выпадений в организм жителей до аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Белорусско-Российского университета. 2008. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vypadenie-soderzhanie-v-produktsii-i-postuplenie-90sr-i-137cs-globalnyh-vypadeniy-v-organizm-zhiteley-do-avarii-na-chernobylskoy-aes> (дата обращения: 04.09.2021).

6. Силкин С. С., Крестинина Л.Ю., Старцев В.Н., Аклев А.В. Уральская когорта аварийно-облученного населения // Медицина экстремальных ситуаций. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uralskaya-kogorta-avariyno-obluchennogo-naseleniya> (дата обращения: 13.09.2021).
7. Стариченко В.И. Минеральная плотность костной ткани как фактор депонирования ^{90}Sr : Данные эксперимента // Радиационная биология. Радиоэкология, 2019, Т. 59, № 1. – С. 103-112.
8. Ray R. D., Thomson D. M., Wolff N. K., Laviolette D. Bone metabolism. II. Toxicity and metabolism of radioactive strontium ($\text{Sr}90$) in rats. *J Bone Joint Surg Am.* 1956 Jan;38-A(1):160-74. PMID: 13286277.
9. Ruth M. Pfeiffer, Mitchell H. Gail, David Pee, Inference for covariates that accounts for ascertainment and random genetic effects in family studies, *Biometrika*, Volume 88, Issue 4, December 2001, Pages 933–948, <https://doi.org/10.1093/biomet/88.4.933>