

Радиоактивные изотопы VII группы периодической системы

И. Я. Василенко

доктор медицинских наук,

Государственный научный центр — Институт биофизики

О. И. Василенко*

доктор физико-математических наук,

физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

Фтор

Характеристика изотопов. Природный фтор состоит из одного стабильного изотопа ^{19}F . В природе ^{19}F встречается исключительно в виде различных соединений и относится к распространённым элементам. Его содержание в земной коре составляет $6,5 \cdot 10^{-2}$ % по массе. Из природных соединений ^{19}F наиболее распространены плавиковый шпат (флюорит) CaF_2 , фторанатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (это соединение входит в состав костей зубов), криолит Na_3AlF_6 . Фтор также входит в состав апатитов, фосфоритов и др. В почве содержится около 0,02 %, в природной воде содержание колеблется в пределах $0,01 \div 2,7$ мг/л. Оптимальным считается содержание $1 \div 1,5$ мг/л. При пониженном поступлении фтора человеку наблюдается снижение устойчивости зубной эмали, что приводит к кариесу. Повышенное поступление вызывает флюороз (деформацию скелета).

В свободном состоянии фтор — благородный газ, состоящий из двухатомных молекул F_2 . Получают фтор электролизом кислого трюфторида калия $\text{KF} \cdot 2\text{HF}$???. Фтор обладает высокой реактивностью, соединяясь почти со всеми элементами. Препараты фтора нашли широкое применение в медицине, различных производствах, сельском хозяйстве для борьбы с вредителями, для фторирования воды с низким содержанием фтора.

Известны искусственные радиоактивные изотопы с массовыми числами 17, 18, 20, 21, 22 и 23. Наибольшее практическое значение имеет ^{18}F . Ядерно-физические свойства ^{18}F приведены в таблице 1.

Получение. ^{18}F получают по следующим реакциям: $^{18}\text{O}(\alpha, p, n)^{18}\text{F}$, $^{19}\text{F}(n, 2n)^{18}\text{F}$, $^{20}\text{Ne}(\alpha, d)^{18}\text{F}$.

*E-mail address: vasilenko@depni.sinp.msu.ru

Ядерно-физические свойства ^{18}F

Радионуклид	$T_{1/2}$	Тип распада	Средняя энергия излучения, МэВ/(Бк·с)		Дочерний радионуклид (выход)
			характеристическое, γ - и аннигиляционное излучение	β -излучение, конверсионные электроны и электроны Оже	
^{18}F	109,77 мин.	ЗЭ, β^+	1,02	$2,50 \cdot 10^{-1}$	^{18}O стаб.

Примечание:

ЗЭ — захват электрона; β^+ — позитронный распад.

Применение. В биологических исследованиях — проводят изучение физиологии костей с помощью хелатных соединений; синтезируют фторбораты для изучения функции щитовидной железы, ароматические красители для исследования проницаемости мембран и др.

В радиоизотопных исследованиях обычно используют фтор-борат калия KB^{18}F_4 . Для предотвращения накопления радионуклида одновременно вводят перхлорат. При введении 37 кБк поглощённая доза в среднем для всего тела равна 0,7 мкГр, для желудка — 5,7 мкГр, для мочевого пузыря — $25 \div 50$ мкГр.

Поступление, распределение и выведение из организма. Резорбция фтора из питьевой воды достигает $93 \div 97$ %. Всасывание фторидов, присутствующих в пище, на $5 \div 20$ % ниже. Насыщение рациона кальцием снижает резорбцию фтора, добавление фосфатов усиливает всасывание [1]. По данным [2], для всех соединений фтора величина всасывания равна 1. Всосавшийся фтор в основном накапливается в скелете и зубах. Отложение протекает быстро. В остальных органах депонируется незначительная часть фтора.

При в/в введении мышам ^{18}F концентрация в костной ткани через 1 ч выше в 3 раза, чем в крови; через 15 мин. устанавливается равновесие между содержанием радионуклида в крови, печени, селезенке и тонкой кишке. Скелет и зубы являются основным депо ^{18}F . В скелете молодых животных ^{18}F накапливается в большем количестве, чем у старых. У крыс через 2 ч. в скелете обнаруживается 60 % введенного количества; через 9 ч. более 50 % активности депонируется в скелете.

Выводится фтор из организма животных в основном с мочой, а также с калом и молоком. По данным [3], при поступлении условному человеку с пищей и жидкостями 1,8 мг фтора с мочой выводится 1,0 мг, фекалиями 0,15 мг и потом 0,65 мг. У детей поступление и выведение фтора в несколько раз меньше и зависит от возраста. У беременных женщин выведение снижается. Кратность накопления фтора в организме составляет приблизительно 1450, в скелете — 1390, мягких тканях — 16. T_6 для организма

равен 808 сут., костей — 1450 сут., мягких тканей — 11 сут.

Гигиенические нормативы. Гигиенические нормативы приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Значения дозовых коэффициентов, предела годового поступления (ПГП) с воздухом и допустимой среднегодовой объёмной активности (ДОА) в воздухе для персонала радиоизотопа фтора ^{18}F [НРБ-99]

Радионуклид	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип соединения при ингаляции	Дозовый коэффициент $\varepsilon_{\text{нас}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк	Предел годового поступления ПГП _{перс} , Бк/год	Допустимая среднегодовая активность ДОА _{перс} , Бк/м ³
^{18}F	1,83 ч.	М	$6,0 \cdot 10^{-11}$	$3,3 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^5$
		Б	$3,0 \cdot 10^{-11}$	$6,7 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^5$
		П	$5,7 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^5$

* Примечание:

К типу "М" соединения с лантаноидами.

К типу "Б" относятся соединения с H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr.

К типу "П" относятся иные соединения.

Таблица 3

Минимально значимые удельная активность (МЗУА) и активность в помещении или на рабочем месте (МЗА) радиоизотопа фтора ^{18}F [НРБ-99]

Радионуклид	МЗУА, Бк/г	МЗА, Бк	Группа радиационной безопасности
^{18}F	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^6$	В

Методы определения. В организме заражение радиоактивными изотопами фтора диагностируется по γ -излучению от тела и биосубстратов (кровь, моча, кал).

Меры профилактики. При работе с радиоактивными изотопами фтора необходимо соблюдать санитарные правила и нормы радиационной безопасности с применением специальных мер защиты в соответствии с классом работ [4].

Неотложная помощь. При загрязнении кожных покровов мытьё рук и лица с мылом, многократное промывание носоглотки и полости рта водой. При остром поражении — питьё 1 % раствора хлористого кальция с взвесью жжённой магнезии, промывание желудка такой же смесью, в/в введение хлористого кальция (10 мл), солевые слабительные (серноокислый натрий и магний 30,0 : 200,0), очистительные клизмы, мочегонные (гипотиазид 0,2 г, фонурит 0,2 г) [5].

Список литературы

- [1] Войнар А. И. *“Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека.”* — М.: Высшая школа, 1960. — 342 с.
- [2] *“Пределы поступления радионуклидов для работающих с радиоактивными веществами.”* Публикация 30 МКРЗ. Ч. 1. — М.: Энергоатомиздат, 1982. — 135 с.
- [3] *“Человек. Медико-биологические данные.”* Публикация 23 МКРЗ. — М.: Медицина, 1977. — 496 с.
- [4] *“Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы.”* — М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999, 116 с.
- [5] Борисов В. П. и др. *“Неотложная помощь при острых радиационных воздействиях.”* — М.: Атомиздат, 1976 — 208 с.