КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ
Физико-технический факультет
Кафедра теоретической и ядерной физики

«Основы производства радиоактивных изотопов»

Лекция 8. Применение медицинских генераторов радионуклидов.

и.о. доцента кафедры
теоретической и ядерной физики
PhD Зарипова Ю.А.

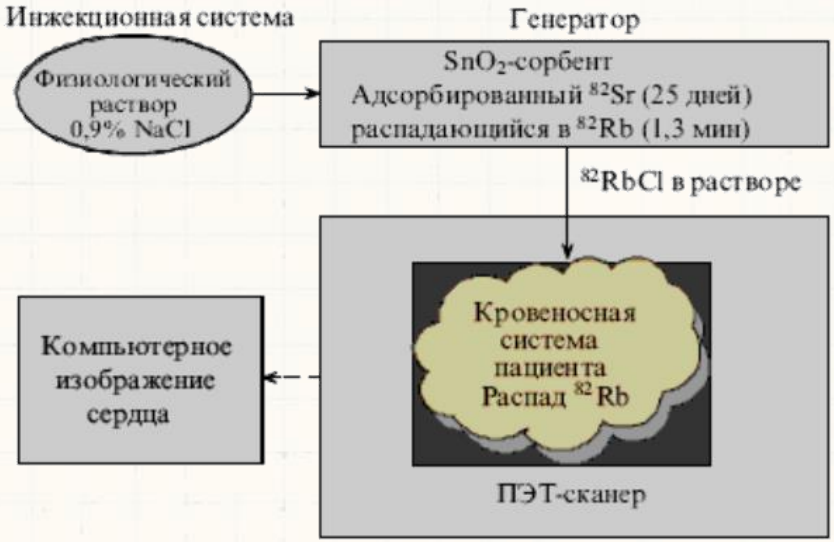
Цель лекции: сформировать представление о принципах работы, конструкции и классификации медицинских генераторов радионуклидов, раскрыть особенности получения короткоживущих радионуклидов из материнских изотопов, а также показать их значение и области применения в ядерной медицине.

Результаты обучения:

По завершении лекции обучающийся будет способен:

1. Объяснять принцип действия радионуклидных генераторов, основанный на радиоактивном распаде материнского радионуклида и образовании дочернего.
2. Характеризовать основные элементы конструкции медицинских генераторов и их функциональное назначение.
3. Различать основные типы радионуклидных генераторов по способу разделения материнского и дочернего радионуклидов.
4. Описывать особенности работы генераторных систем $^{99}Mo/^{99m}Tc$, $^{68}Ge/^{68}Ga$ и других медицинских генераторов.
5. Объяснять основные требования к качеству получаемых радионуклидов и характеризовать их применение в радионуклидной диагностике и терапии.

Генераторные радионуклиды (например, ^{99m}Tc, ^{113m}In, ^{81m}Kr) являются короткоживущими и образуются из изотопов с длительным периодом полураспада, помещённых в свинцовый контейнер (генератор).





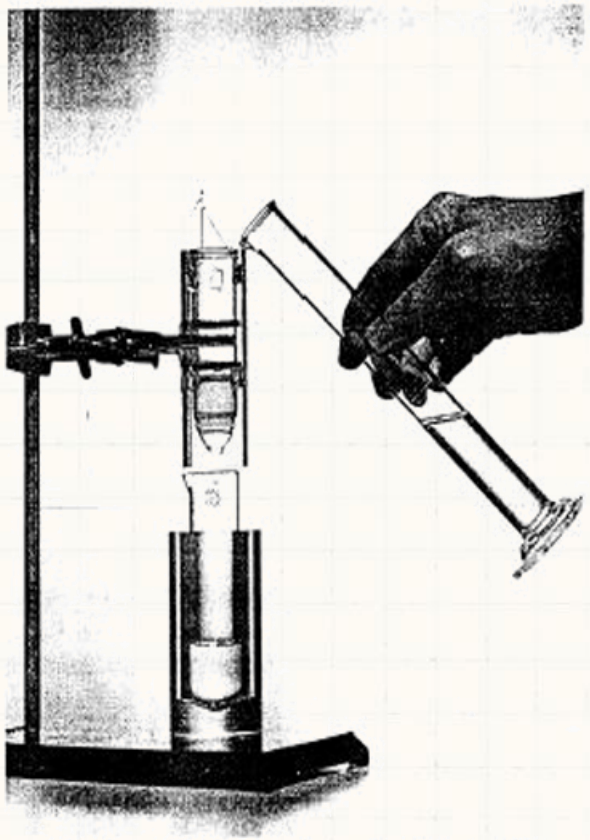


Fig. 1. The original ^{99m}Tc generator (shown without shielding), *ca.* 1958.

Первый генератор ^{99m}Tc

Walter Tucker and
Margaret Green,
Brookhaven National Lab.,
USA, 1958

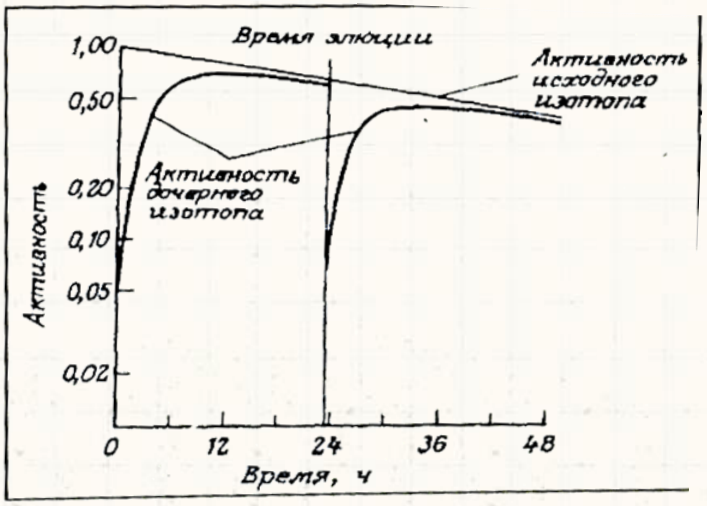
Существует большое количество параметров для классификации радионуклидных генераторов, например по методу химического раз деления и особенностям, присущим этому методу:

1. **Хроматографические генераторы.** Радионуклид с высокой удельной активностью (малой массой) сорбционным способом вводят в начало хроматографической колонки, при этом он селективно поглощается и надежно удерживается сорбентом. Самый распространенный пример - генератор Tc-99m, где Mo-99 производится из продуктов деления урана.
2. **Генераторы на основе твердой матрицы -** гелевые генераторы. Рассмотрим на примере молибдена, производимого по реакции (n, γ). Из облученного молибдена получают химическое соединение молибдат циркония, который загружают в колонку генератора. Такой генератор позволяет иметь в колонке значительное количество молибдена. В процессе производства генераторов данного типа не происходит накопления нежелательных побочных продуктов облучения.
3. **Экстракционные генераторы.** В них используется жидкостная экстракция, позволяющая перерабатывать большие количества материалов и достигать значительных степеней очистки. Однако использование органических экстрагентов и сложность оборудования, длительность и трудоемкость этого процесса, а также высокая радиационная нагрузка на персонал уменьшает привлекательность данного метода.

Основные элементы генератора колонка, система коммуникации и защитный кожух. Колонка содержит сорбент с материнским радионуклидом. Образующийся в результате распада дочерний радионуклид вымывают из колонки элюентом и получают элюат-раствор с дочерним радионуклидом.

В $^{99}Mo/^{99m}Tc$ - генераторе материнский радионуклид - ^{99}Mo ($T_{1/2}$ = 66 час), сорбент - окись алюминия, Al_2O_3, дочерний РН - ^{99m}Tc ($T_{1/2}$ = 6 час). ^{99m}Tc «выдавливается» из колонки с Al_2O_3 изотоническим раствором (0,9% NaCl).

$$^{99}Mo \rightarrow \beta^- + {}^{99m}Tc \rightarrow {}^{99}Tc + \gamma\ (E_\gamma = 140\ кэВ,\ 98\%)$$



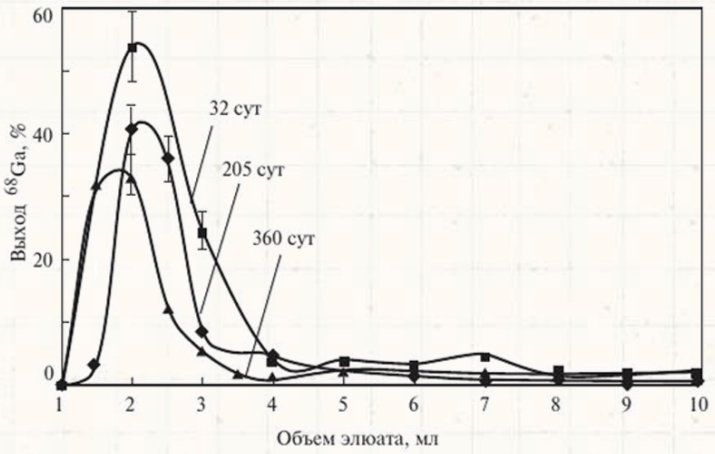
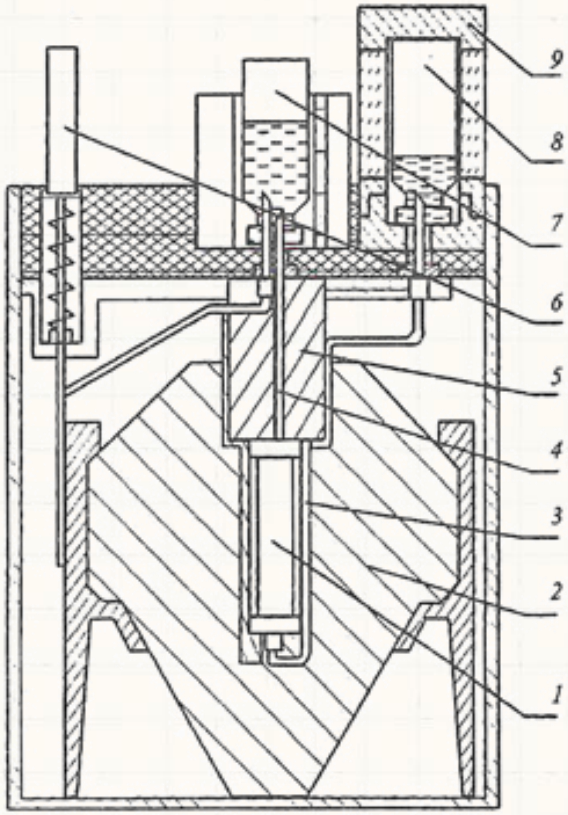


Схема конструкции генератора ^{99m}Tc



9 контейнер медицинский (радиационная защита)

8 флакон (вауумированный) с элюатом

7 флакон с элюентом

6 фильтр воздушный

5 пробка (радиационная защита)

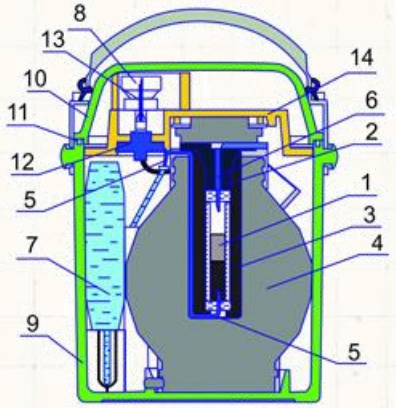
4 линия элюента

3 линия элюата

2 корпус генератора (радиационная защита)

1 колонка с материнским радионуклиидом

Генератор технеция-99м в транспортном положении



1-колонка, 2-пробка, 3-гильза, 4-контейнер защитный, 5-линия элюента, 6-игла верхняя, 7-контейнер «КОМПОПЛАСТ»-300, 8-флакон предохранительный,9-сосуд охранный, 10-крышка, 11-кольцо резиновое, 12-фильтр гидрофильный Millex, 13-игла инъекционная LYER, 14-панель.

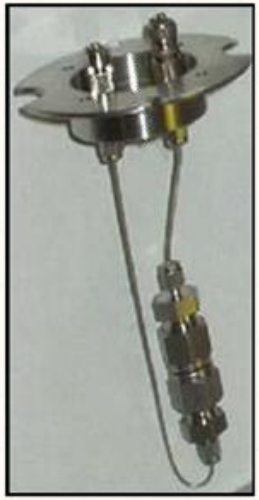
Радионуклиды, используемые в генераторах изотопов			
Родительский радионуклид	**$T_{1/2}$**	**Дочерний радионуклид**	**$T_{1/2}$**
^{62}Zn	9.2 ч	^{62}Cu	9.7 м
^{68}Ge	271 дн	^{68}Ga	68 м
^{82}Sr	25 дн	^{82}Rb	1.26 м
^{81}Rb	4.6 ч	^{81m}Kr	13 с
^{90}Sr	28.9 л	^{90}Y	64 .1 ч
^{99}Mo	66 ч	^{99m}Tc	6 м
^{113}Sn	115.1 дн	^{113m}In	99.5 м
^{122}Xe	20.1 ч	^{122}I	3.6 м
^{188}W	69.8	^{188}Re	17 ч

^{82}Sr (25, 5 дн.)→^{82}Rb (1,3 мин.)

Принцип работы стронций/рубидиевого-82 генератора



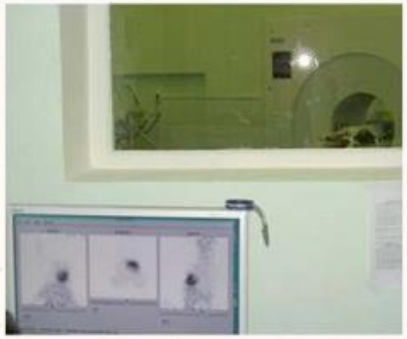
Генератор





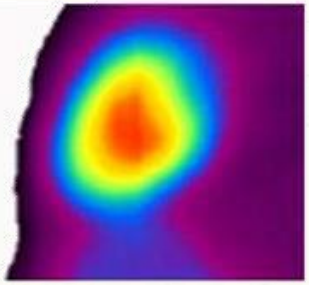
Испытания генератора на позитронно-эмиссионном томографе

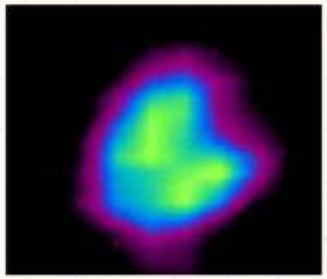




Сердце кролика:

здоровое с инфарктом миокарда



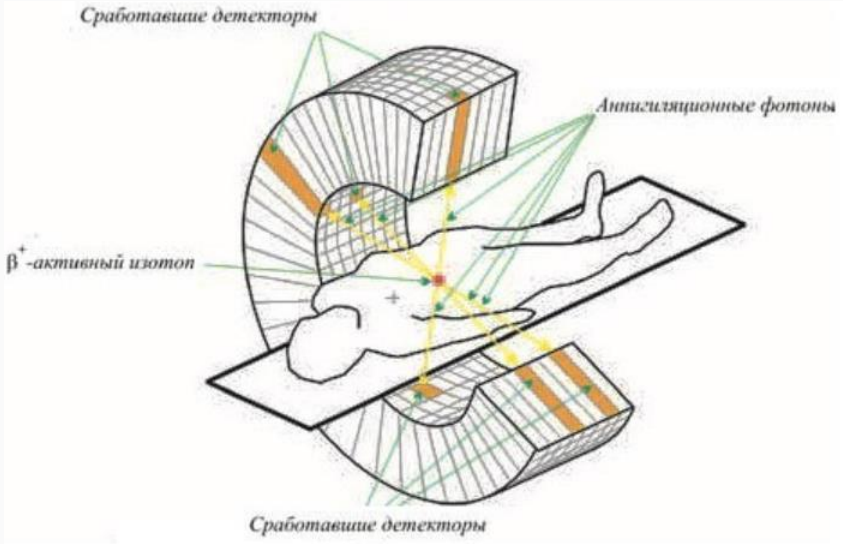


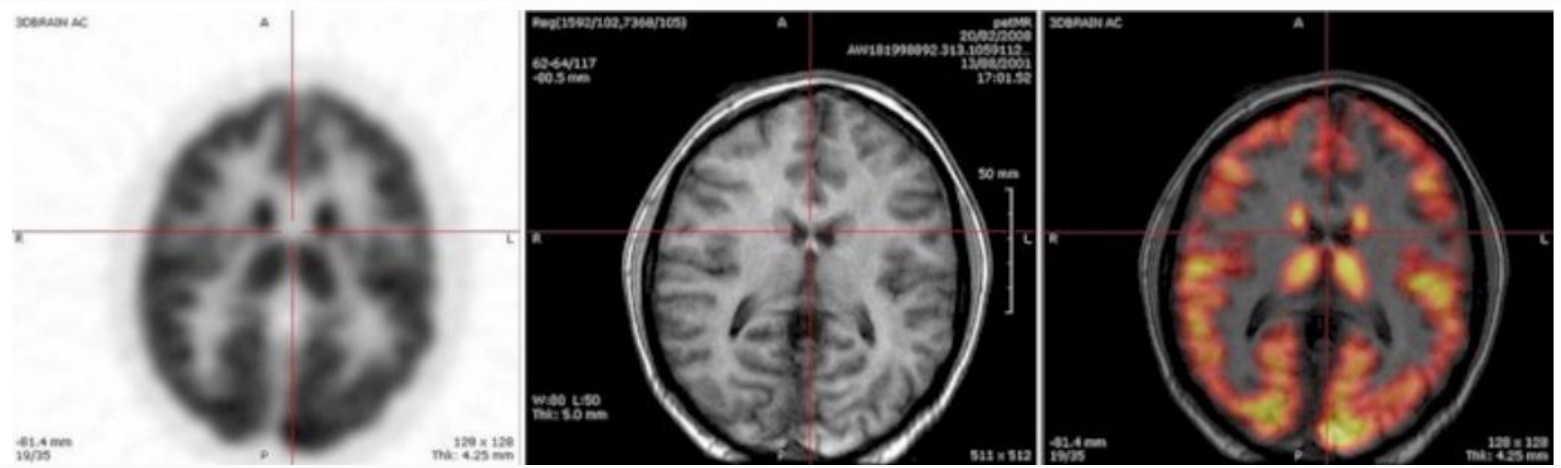
ГЕНЕРАТОРНЫЕ ПОЗИТРОН-ИЗЛУЧАТЕЛИ



Генераторная система	Родительский нуклид	Дочерний нуклид			
	$T_{1/2}$	$T_{1/2}$	Выход позитрона, %	E_{β^+}, МэВ	Применение
$^{82}Sr/^{82}Rb$	25,6 сут	1,27 мин	95,0	1,41	Перфузия
$^{140}Nd/^{140}Pr$	3,37 сут	3,39 мин	51,0	0,544	Перфузия
$^{118}Te/^{118}Sb$	6,00 сут	3,6 мин	74,0	0,882	Перфузия
$^{122}Xe/^{122}I$	20,1 ч	3,6 мин	77,0	1,09	Мечение
$^{128}Ba/^{128}Cs$	2,43 сут	3,62 мин	69,0	0,869	Перфузия
$^{134}Ce/^{134}La$	3,16 сут	6,4 мин	63,0	0,756	Перфузия
$^{62}Zn/^{62}Cu$	9,26 ч	9,74 мин	97,0	1,28	Перфузия, мечение
$^{52}Fe/^{52m}Mn$	8,28 сут	21,1 мин	97,0	1,13	Перфузия
$^{68}Ge/^{68}Ga$	270,8 сут	1,135 ч	89,0	0,74	Перфузия, мечение
$^{110}Sn/^{110m}In$	4,1 ч	1,15 ч	62,0	0,623	Мечение
$^{44}Ti/^{44}Sc$	60,3 г.	3,927 ч	94,0	0,597	Мечение
$^{72}Se/^{72}As$	8,4 сут	1,083 сут	88,0	1,02	Мечение

Позитронно-эмиссионная томография (Двухфотонная эмиссионная томография)





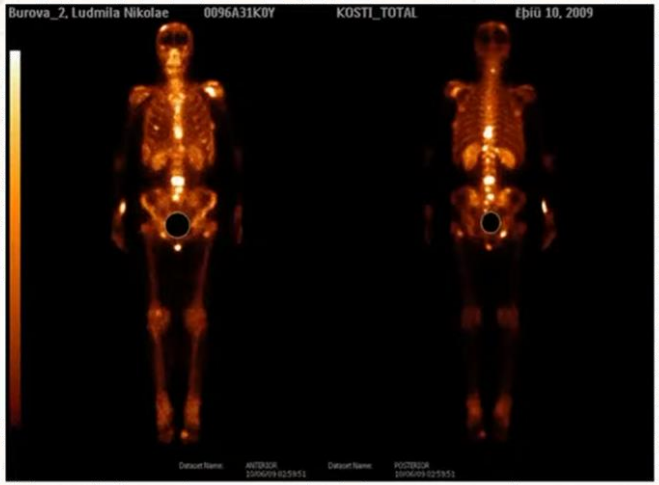
Снимки экрана компьютера. Слева направо изображения ПЭТ, МРТ и комбинированное изображение ПЭТ-МРТ.

ГЕНЕРАТОРНЫЕ ФОТОН-ИЗЛУЧАТЕЛИ

Фотонных излучателей требуют сцинтиграфия и более продвинутый вариант ОФЭКТ. Необходимо выбрать радионуклид, который испускает только гамма-кванты, обычно это выполняется в случае изомерного перехода и К-захвата.

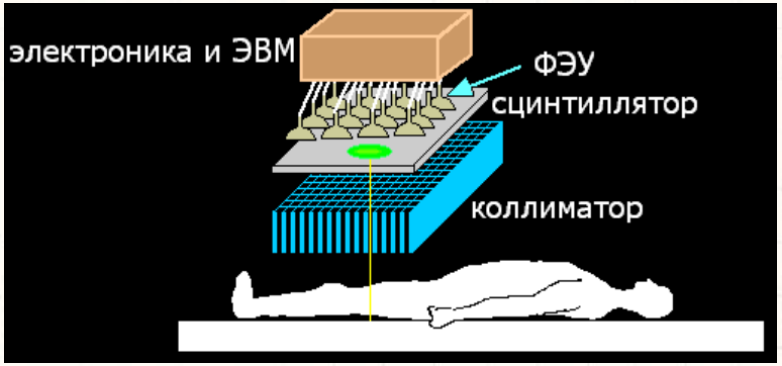
^{77}Br ($T_{1/2}$ = 2,377 сут)/^{77m}Se ($T_{1/2}$ = 17,4 с);
^{109}Cd ($T_{1/2}$ = 1,267 года)/^{109m}Ag ($T_{1/2}$ = 39,6 с);
^{113}Sn ($T_{1/2}$ = 115,09 сут)/^{113m}In ($T_{1/2}$ = 1,658 ч);
^{115}Cd ($T_{1/2}$ = 2,228 сут)/^{115m}In ($T_{1/2}$ = 4,486 ч);
^{81}Rb ($T_{1/2}$ = 4,58 ч)/^{81m}Kr ($T_{1/2}$ = 13 с);
^{191}Os ($T_{1/2}$ = 15,4 сут)/^{191m}Ir ($T_{1/2}$ = 4,94 с);
^{195m}Hg ($T_{1/2}$ = 1,73 сут)/^{195m}Au ($T_{1/2}$ = 30,5 с);
^{178}W ($T_{1/2}$ = 21,5 сут)/^{178m}Ta ($T_{1/2}$ = 9,31 мин).

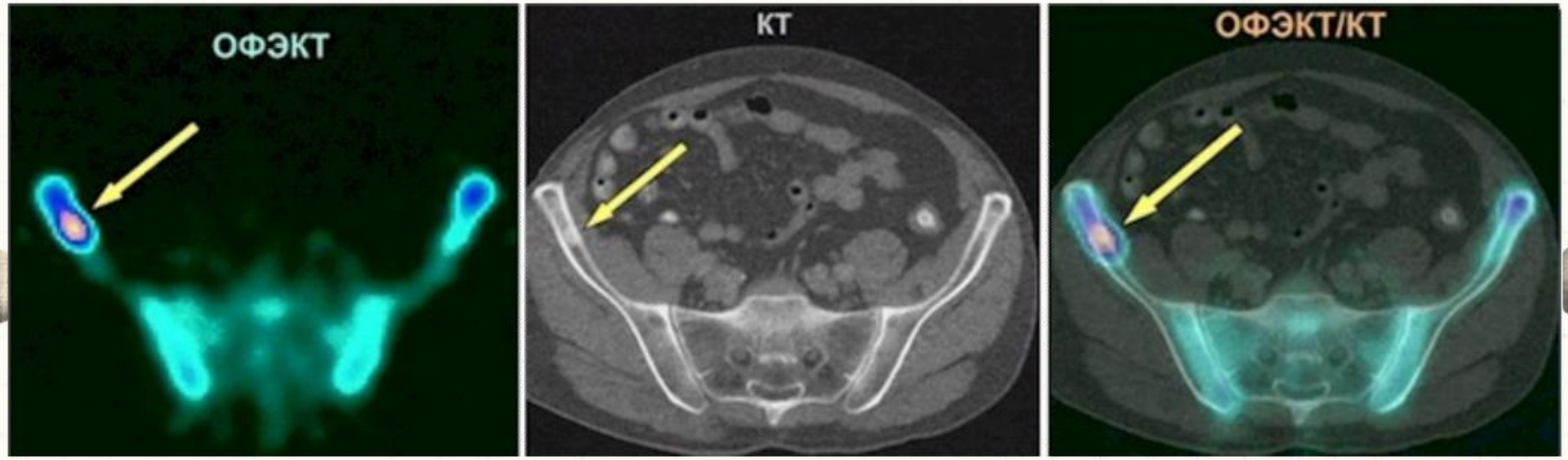
Сцинтиграфия костей скелета



Передняя проекция. Задняя проекция

«Горячий очаг» в позвонках, левом предплечье и в головке правой плечевой кости.





Изображения в ОФЭКТ, КТ и интегрированной системе ОФЭКТ/КТ

Выводы:

1. Медицинские генераторы радионуклидов обеспечивают многократное получение короткоживущих дочерних радионуклидов из долгоживущих материнских изотопов непосредственно в медицинских учреждениях.
2. Принцип работы генераторов основан на закономерностях радиоактивного распада и физико-химических методах разделения радионуклидов.
3. Основными типами генераторов являются хроматографические, экстракционные и генераторы на основе твёрдой матрицы, различающиеся конструкцией и способами выделения радионуклидов.
4. Генераторные системы $^{99}Mo/^{99m}Tc$ и $^{68}Ge/^{68}Ga$ широко применяются для получения радионуклидов, используемых в диагностических исследованиях.

Вопросы для самопроверки:

1) В чём заключается основное преимущество использования радионуклидных генераторов по сравнению с поставкой готовых радионуклидов?
2) Что такое радионуклидный генератор и из каких основных компонентов он состоит?
3) В чём суть принципа работы генератора радионуклидов «материнский-дочерний изотоп»?
4) Назовите основные требования, предъявляемые к медицинским радионуклидным генераторам.
5) Опишите особенности конструкции и принцип работы генератора $^{99}Mo/^{99m}Tc$. Почему он наиболее распространён в клинической практике?

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

