



Национальный исследовательский ядерный университет

МИФИ

Кафедра «Медицинская физика»

Курс «Физика радиоизотопной медицины»

**«Методы радионуклидной
диагностики органов и систем
человека»**

Доцент каф. 35
Штоцкий Ю.В.

Москва
2013

Содержание

1. Введение
2. Опухоли и воспалительные процессы
3. **Эндокринная система**
4. **Сердечно-сосудистая система и функции сердца**
5. **Дыхательная система**

Введение

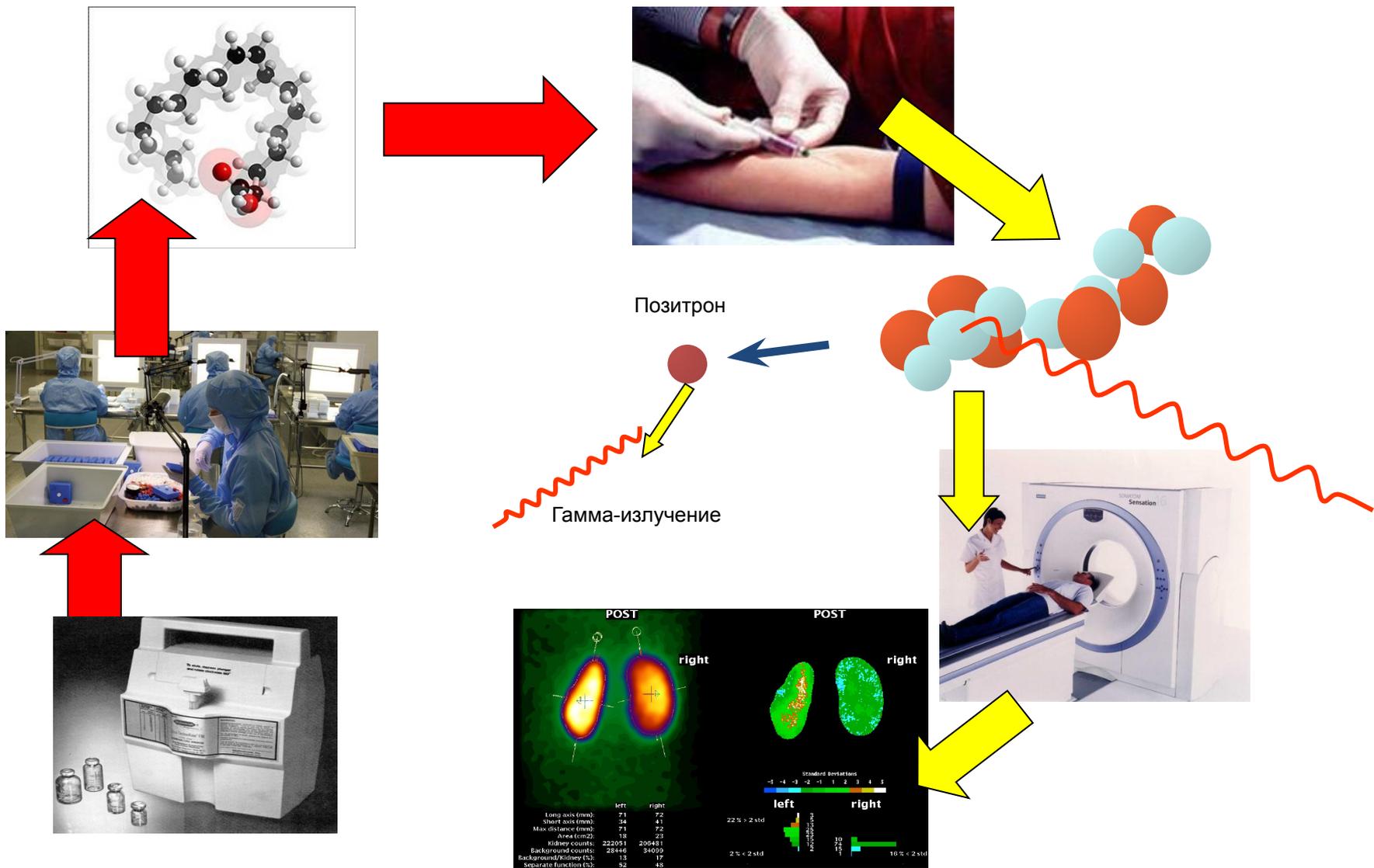
Возможности РНД

- выявление метаболических нарушений в патологических очагах и окружающих тканях
- выявление опухоли возможно в тех случаях, когда структурные изменения не выявляются или неспецифичны, а также в целях получения раннего ответа опухоли на терапию для прогнозирования результата лечения

Основные задачи

- Дифференциальная диагностика злокачественных опухолей и доброкачественных образований
- Определение распространенности опухолевого процесса, уточнение стадии процесса
- Выявление рецидивов и метастазов после проведенного лечения
- Оценка эффективности противоопухолевой терапии

РНД in vivo (упрощенная схема)



Систематика РНД

Основные принципы РНД

- ❑ формирование поля гамма – излучения, испускаемого РФП из тела пациента

Коллиматоры / перемещение детектора

- ❑ дискриминация измерительной информации
 - ▢ *По энергии – подавление вклада рассеянных фотонов*
 - ▢ *По месту регистрации – улучшение импульсной загрузочной характеристики детектора*
 - ▢ *По времени – в ПЭТ для отбора полезных сигналов*
 - ▢ *По типу излучения – в случае бета- и гамма-топографии*
- ❑ синхронизация физиологическими сигналами
 - Для улучшения диагностического качества исследования*
- ❑ получение информации о функциональных резервах РНД исследования проводят с использованием, так называемых **нагрузочно - разгрузочных проб**. Данные пробы могут быть двигательными, фармакологическими, визуальные, пищевые и т.п.

PHD in vivo

РНД in vitro

а – схема радиоиммунологического анализа
б – график результатов радиометрии

Этапы процесса:

- I – смешивание реагентов
- II – инкубация
- III – разделение

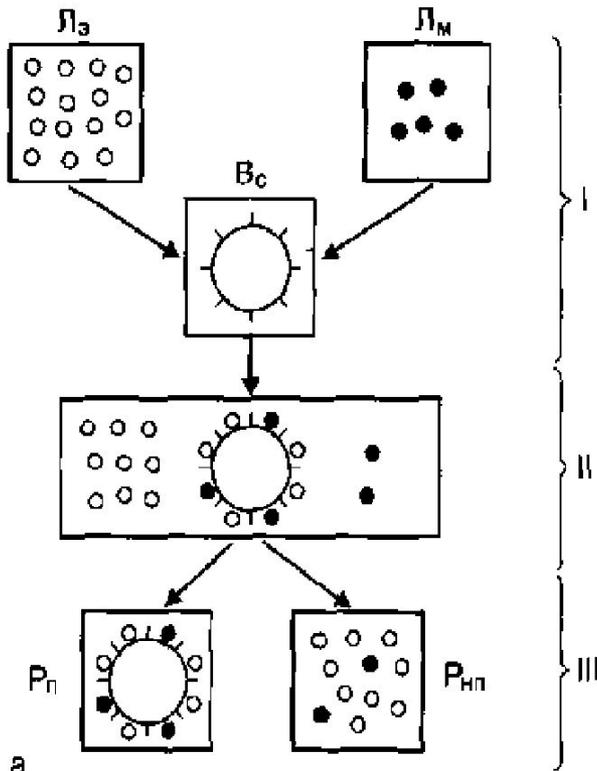
Лэ – исследуемое вещество (эндогенный лиганд)

Лм – меченый аналог исследуемого вещества (меченый лиганд)

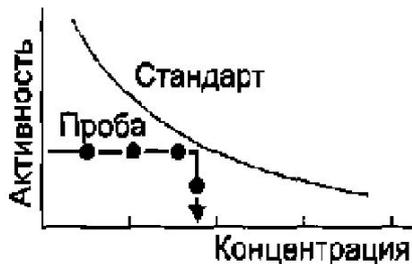
Вс – воспринимающая система (специфическая)

Рп – прореагировавшие вещества (связанная радиоактивность)

Рнп – не прореагировавшие вещества (свободная радиоактивность)



а



б

Радиометрия

РФП для РНД

Свойства, влияющие на выбор РФП:

- клиническая целевая функция исследования
- отсутствие химической и радиационной токсичности
- характер транспорта РФП в организме
- устойчивость радиоактивной метки
- простота приготовления и использования
- стоимость и доступность

ОПТИМАЛЬНЫЙ РФП =

минимальная доза внутреннего облучения и стоимость

РФП для РНД

Классификация свойств с т.з. физических основ РНД:

- **транзит** (прохождение через исследуемый орган транзитом в ходе измерения)
- **удержание** (накопление и/или удержание в исследуемом органе)
- **способность проникать через гематотканевый барьер** (движение по сосудистому руслу после введения в организм, проникновение в окружающие сосуд ткани)
- **избирательность места накопления** (накопление в патологических тканях – образование «горячих очагов», накопление в здоровых тканях – образование «холодных очагов»)

Классы РФП

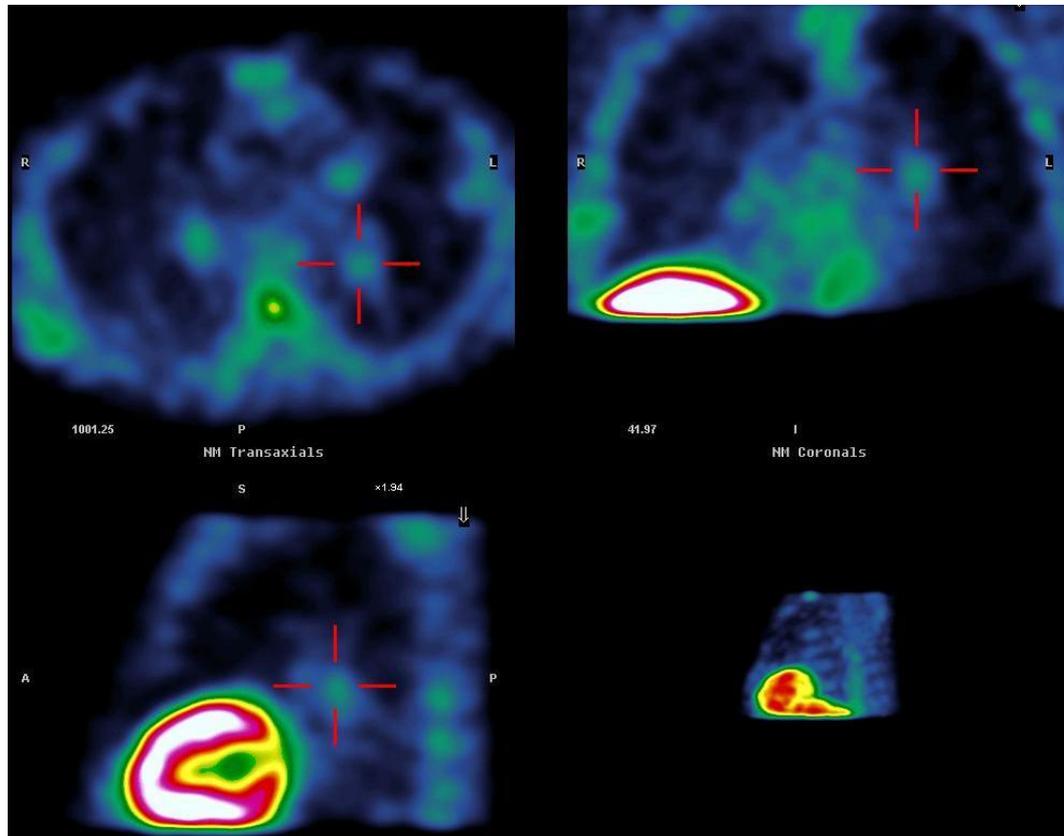
- *РФП, способные накапливаться в интактных тканях, окружающих опухоль*
- *РФП, способные накапливаться в тканях, подверженных неспецифическим изменениям со стороны опухоли*
- *РФП, тропные к мембранам опухолевых клеток по реакции «антиген-антитело»*
- *РФП, тропные к мембранам опухолевых клеток по механизму клеточной рецепции*
- *Специфические РФП, проникающие в опухолевые клетки*
- *Неспецифические РФП, проникающие в опухолевые клетки*

Тумороторпные РФП

Класс	РФП
Неспецифические	^{67}Ga -цитрат, ^{201}Tl -хлорид, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пирофосфат
РФП для характеристики опухолей	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тетрафосмин
Метаболические	Na^{131}I , ^{131}I -метайодобензилгуанидин (MIBG), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ХИДА
РФП для связывания рецепторами	^{111}In -пентетреотид
Меченые клональные антитела и их фрагменты	^{111}In -anti CEA, ^{111}In -B72.3
РФП для ПЭТ	^{18}F -ФДГ, ^{11}C -метионин

Визуализация с туморотропными РФП

При ОФЭКТ грудной полости визуализируются очаги патологической фиксации ^{99m}Tc -MIBI в обоих легких; нормальное физиологическое накопление РФП в миокарде левого желудочка сердца

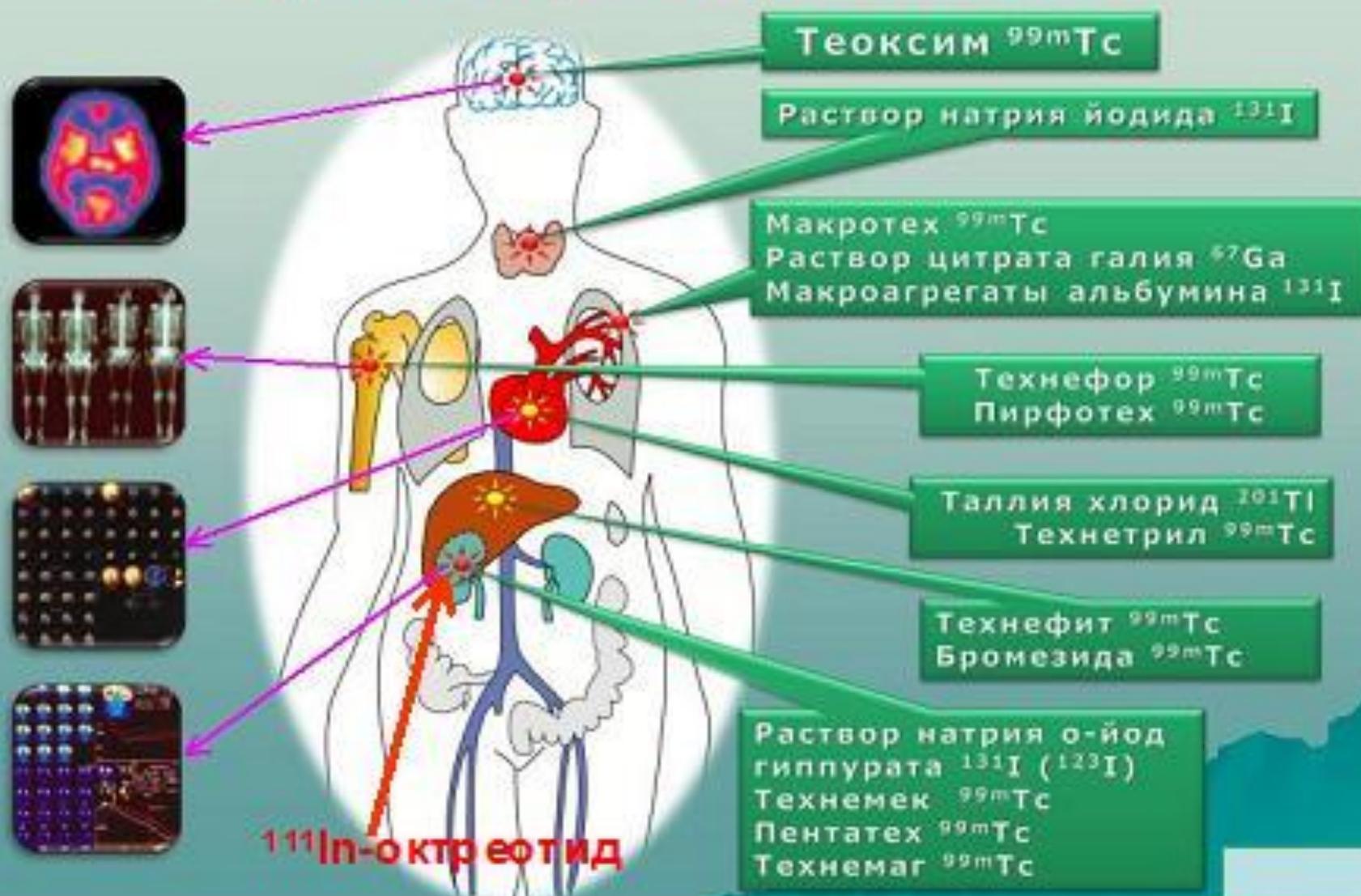


РФП на основе ^{99m}Tc для сцинтиграфии

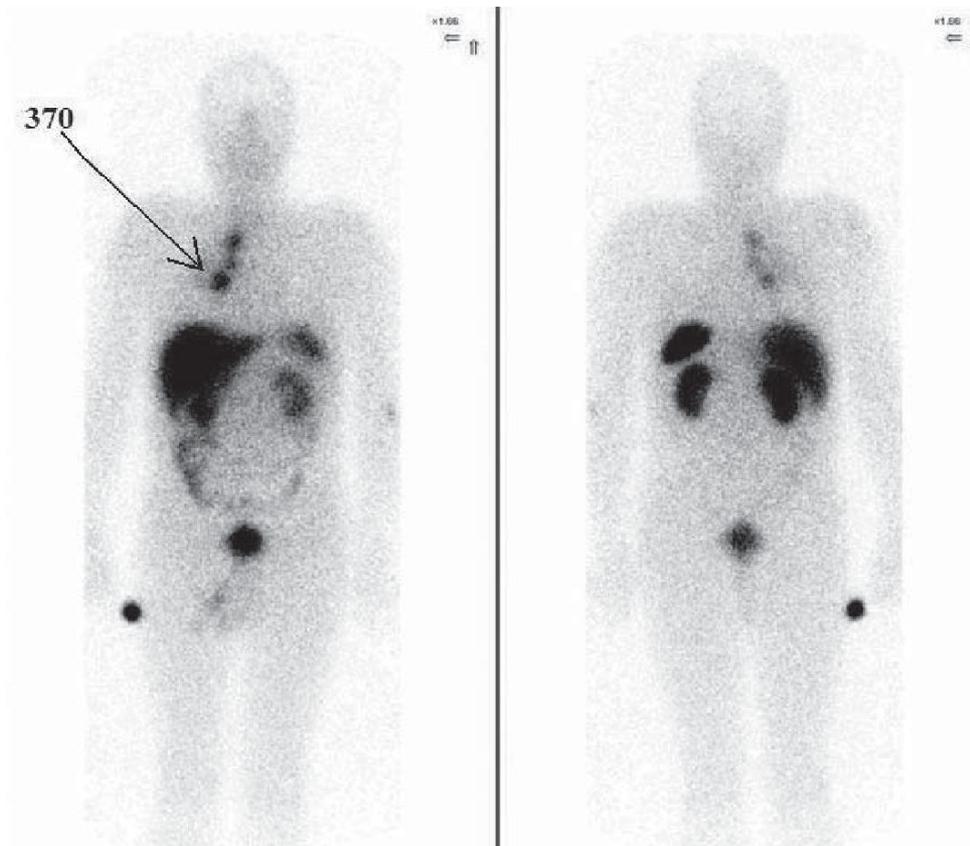
РФП	Диагностическое применение
^{99m}Tc -пертехнетат	Диагностика заболеваний щитовидной и слюнных желез, диагностика опухолей мягких тканей и головного мозга (менингиомы, глиомы, глиобластомы, астроцитомы)
^{99m}Tc -ДТПА (диэтилентриамино пентаацетат)	Оценка фильтрационно-экскреторной функции почек, СКФ, количества функционирующей паренхимы
^{99m}Tc -ДМСА (диметиленсукцина тацетил)	Оценка дефектов коркового вещества почек, диагностика наличия временных и постоянных почечных повреждений
^{99m}Tc -МАГЗ (меркаптоацетилтр иглицин)	Оценка секреторно-экскреторной функции почек, ЭПП, прогноз жизнеспособности трансплантированной почки
^{99m}Tc -ЕС (этилендицистеин)	Оценка секреторно-экскреторной функции почек, ЭПП, выявление истинной или ложной обтурации мочевых путей, пузырно-мочеточниковых рефлюксов
^{99m}Tc -НАГЗ (гидроксиацетилтр иглицин)	Оценка секреторно-экскреторной функции почек, ЭПП
^{99m}Tc -глюкогептонат	Оценка дефектов коркового вещества почек, диагностика наличия временных и постоянных почечных повреждений, определение величины СКФ

^{99m}Tc -фосфаты (пирофосфат, метилендифосфонат)	Диагностика наличия первичного или вторичного поражения костной системы, оценка выраженности воспалительных изменений почек, выявление участков некроза в миокарде
^{99m}Tc -MIBI (метоксиизобутилизонитрил)	Изучение перфузии миокарда, выявление зон ишемии миокарда, диагностика аденомы паращитовидных желез, рака молочной железы
^{99m}Tc -тетрафосмин	Диагностика рака молочной железы, оценка эффективности лечения
^{99m}Tc -коллоид	Оценка морфофункционального состояния клеток ретикуло-эндотелиальной системы, выявление первичного и вторичного поражения печени
^{99m}Tc -ХИДА (имидодиуксусная кислота)	Оценка секреторно-экскреторной способности гепатоцитов, функциональной способности желчного пузыря, определение типа дискинезии желчевыводящих путей
^{99m}Tc -МАО (макроагрегат человеческой сыворотки крови)	Оценка легочной перфузии, диагностика опухолевого поражения, его распространенности, диагностика тромбоза легочной артерии (ТЭЛА)
^{99m}Tc -ceretec (HmPAO)	Оценка перфузии головного мозга, выявление участков ишемии, диагностика ишемических инсультов
^{99m}Tc -ДМСА (V)	Определение локализации анонимных опухолей, метастазов
^{99m}Tc -депреотид	Диагностика опухолей легких, ТЭЛА
^{99m}Tc -IgG	Определение скрытых участков воспаления
^{99m}Tc -нанокол	Определение первого лимфатического узла, который поражен метастазами при раке молочной железы

ВНЕДРЕННЫЕ В ПРАКТИКУ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ



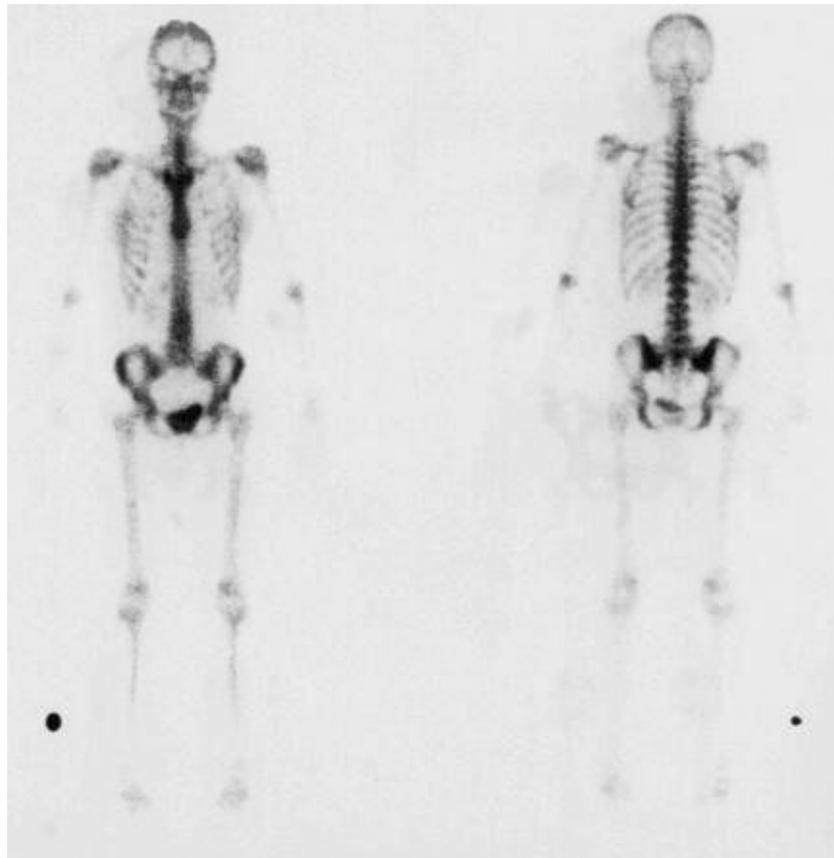
Пример применения РФП в сцинтиграфии



Пациент с диагнозом рака верхней доли правого легкого с метастазами во внутригрудные лимфатические узлы, для исследования применялся РФП ^{111}In - Октреотид, предназначенный для выявления нарушений метаболических процессов в опухолях и окружающих тканях

Пример применения РФП в сцинтиграфии

Отстеосцинтиграфия ^{99m}Tc



Новые направления сцинтиграфии

Иммуносцинтиграфия:

диагностическое применение основных РФП для этого направления:

- ^{111}In -anti CEA, ^{111}In -B72.3 — диагностика колоректального рака
- ^{111}In -OC125, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MOV18, ^{111}In -OVTL3 — диагностика рака ЯИЧНИКОВ
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -225 28S F(ab)2 fragments — диагностика меланомы
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -NR-LU10 — диагностика рака легких
- ^{111}In -antimyosin — диагностика рабдомиосаркомы
- ^{131}I -antiCEA F(ab)2 fragments — диагностика медуллярного рака щитовидной железы

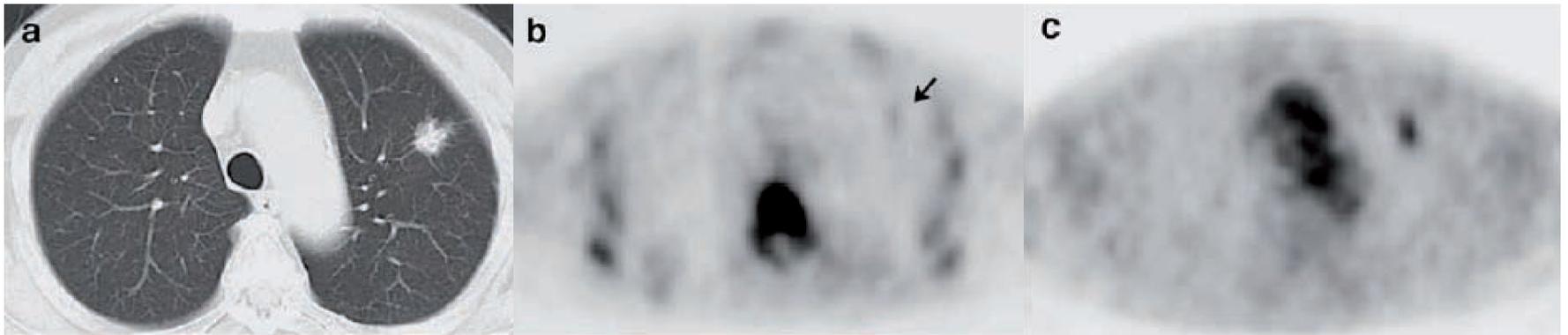
РФП для ПЭТ

РФП	Диагностическое применение
^{18}F -ФДГ (фтордезоксиглюкоза)	для оценки скорости метаболизма глюкозы
^{18}F -фторхолин	для определения уровня метаболизма и транспорта аминокислот и синтеза белков
^{18}F -фтортимидин	для оценки скорости пролиферации опухолевых клеток
^{18}F -тирозин	для определения уровня метаболизма и транспорта аминокислот и синтеза белков
^{18}F -фтормизонидазол	для выявления тканевой гипоксии
^{18}F -DOPA (дигидроксифенилаланин)	для изучения пре- и постсинаптических процессов в дофаминэргической системе
^{18}F -флюмазенил	для изучения пре- и постсинаптических процессов в бензодиазепиновой системе
^{11}C -D-глюкоза	для оценки скорости метаболизма глюкозы
^{11}C -метил-L-метионин	для определения уровня метаболизма и транспорта аминокислот и синтеза белков
^{11}C -лейцин	для определения уровня метаболизма и транспорта аминокислот и синтеза белков
^{11}C -L-DOPA (дигидроксифенилаланин)	для изучения пре- и постсинаптических процессов в дофаминэргической системе
O-метил- ^{11}C -раклоприд	для изучения пре- и постсинаптических процессов в дофаминэргической системе
меченая ^{15}O вода	для оценки мозгового кровотока
$^{15}\text{O}_2$	для оценки метаболизма кислорода

Визуализация в ПЭТ

Пример ПЭТ визуализации с использованием фторсодержащих РФП.

а – КТ изображение, b – ПЭТ с FLT, c – FDG



Современные методы РНД

Мультимодальная визуализация:

ПЭТ/КТ/ОФЭКТ-Гамма-Камера

Philips AnyScan®



Характеристики системы

Модуль КТ

- 70 см, FOV 50 см – Диаметр апертуры, поле обзора
- 0,4 0,5, 0,7, 1, 1,5 и 2 сек. – Время оборота гентри на 360°
- Количество срезов 16
- Количество элементов детектора 21504
- Минимальная толщина среза 0,625 мм

Модуль Гамма-камера/ОФЭКТ

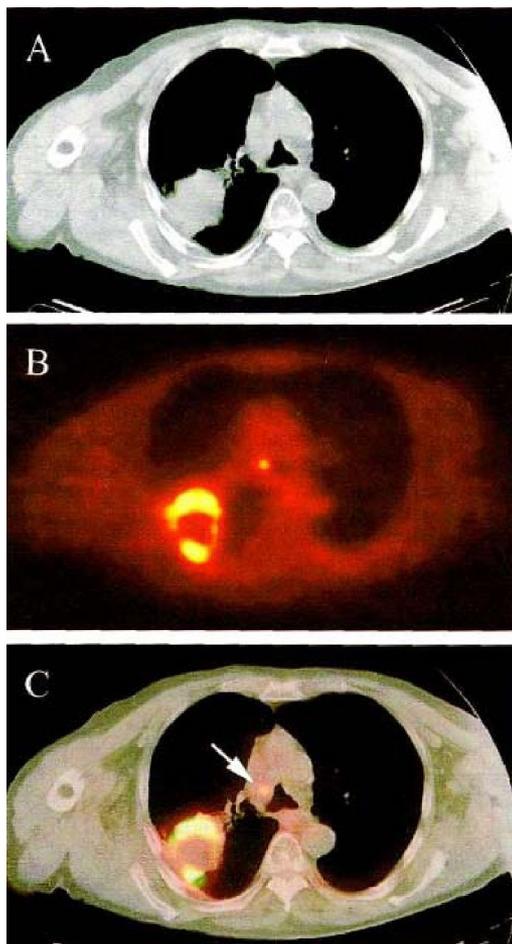
- Диапазон изменения угла поворота детекторов 180 и 101 или 90°
- Толщина кристалла 9,5 мм, 12,5 мм, 15,9 мм.
- количество ФЭУ 48-60
- FOV детектора: 530 мм x 390 мм
- Диапазон энергий: 40 – 600 кэВ
- Энергетическое разрешение для 99mTc: 9,5%
- Пространственное разрешение с коллиматором LEHR: 7,2 мм

Модуль ПЭТ

- Количество детекторов 24
- Размер кристалла 3,9 x 3,9 x 20 мм
- Количество пикселей 26448
- Количество фотоумножителей 288
- Поперечное разрешение 1 см: 4,1 мм
- Продольное разрешение 1 см: 4,2 мм
- Продольный FOV: 15,2 см
- Поперечный FOV: 55 см
- Чувствительность системы: 4,3 событий / (кБк·с)

Принцип мультимодальной визуализации

Принцип мультимодальной визуализации.
А – КТ изображение, В – ПЭТ изображение,
С - результат совмещения А и В



РНД эндокринной системы

Щитовидная железа



Функции щитовидной железы:

- Захват йода из плазмы крови (неорганическая фаза)
- Синтез гормонов щитовидной железы (органическая фаза)
- Секреция гормонов в кровь

Заболевания щитовидной железы:

- *Щитовидная железа* – дефицит тиреоидных гормонов
- *Гипертиреоз* – повышение функции ЩЖ
- *Тиреотоксикоз* – повышенный уровень тиреоидных гормонов
- *Зоб* – узловое образование ЩЖ

Возможное расположение щитовидной железы:

- 1 - лингвальное; 2 - интралингвальное; 3 - сублингвальное;
4 - нормальное; 5 - интратрахеальное; 6 - субстернальное

Щитовидная железа

Измерение йодопоглотительной функции

У взрослых здоровых людей уровень поглощения ^{131}I после введения РФП через:

2 часа составляет 7-10%;

4 часа - 15-17%;

24 часа - 29- 32%;

48 часов - 28-30%



Внешний вид тиреорадиометра

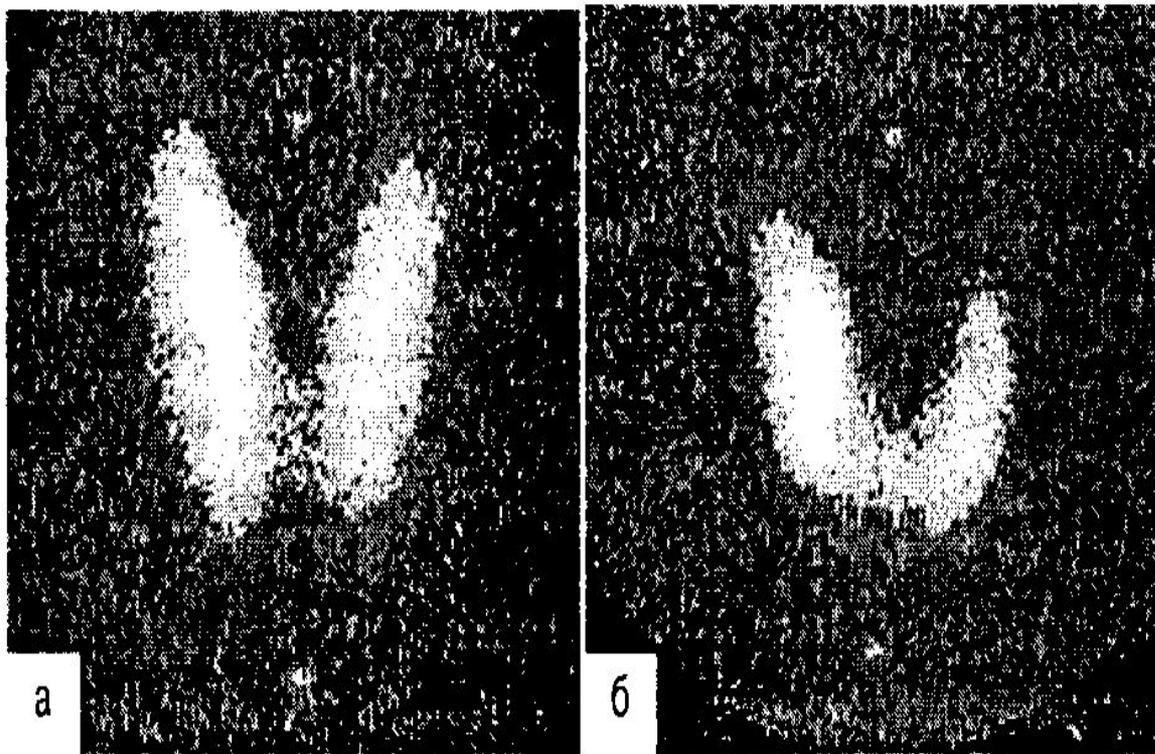
$$\text{Уровень поглощения} = \frac{\text{радиоактивность ЩЖ (имп/мин)}}{\text{введенная активность (имп/мин)}} \cdot 100\%$$

Щитовидная железа

РФП для диагностики щитовидной железы.

РФП	Применение
^{99m}Tc -пертехнетат	рутинная сцинтиграфия ЩЖ
^{123}I -йодид натрия	сцинтиграфия ЩЖ в случае необходимости исследования с йодом
^{131}I -йодид натрия ^{18}F -ФДГ	диагностика рака ЩЖ
^{127}I -(стабильный) йодид	выявление узлов ЩЖ и супрессированной тиреоидной ткани
^{67}Ga цитрат	визуализация лимфомы ЩЖ, скрытого тиреоидита, тиреоидной инфекции или амилоидоза
^{201}Tl -хлорид таллия и ^{199}Tl	диагностика рака ЩЖ, узлов ЩЖ, супрессированной тиреоидной ткани
^{99m}Tc -пятивалент- ный ДМСА ^{131}I / ^{123}I -МИБГ	индикация медуллярной карциномы ЩЖ

Щитовидная железа



Анализ сцинтиграмм

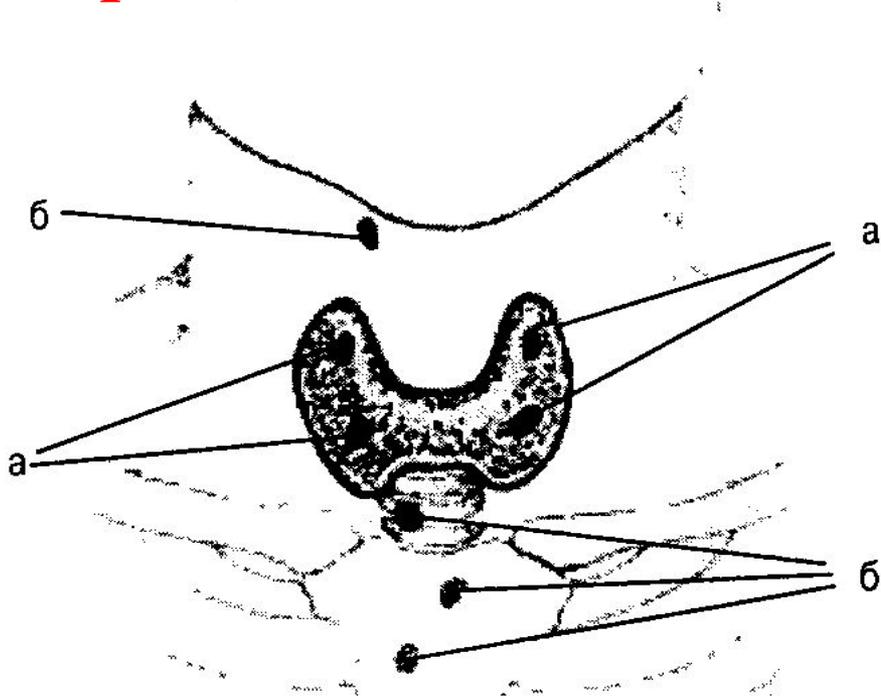
- Определение расположения ЩЖ (величина, форма, четкость контуров)
- Распределение РФП (равномерное, неравномерное)
- Наличие и локализация патологического очага (величина, форма, контуры)

Сцинтиграмма щитовидной железы в норме:
а – форма бабочки, б - подковообразная форма.

Сцинтиграфия щитовидной железы.



Паращитовидные железы

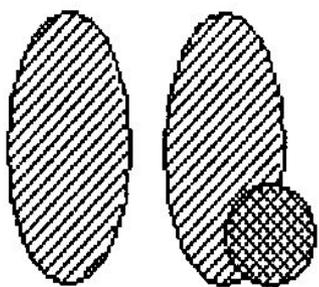


Нормальное (а) и абберантное (б)
положение ПЩЖ

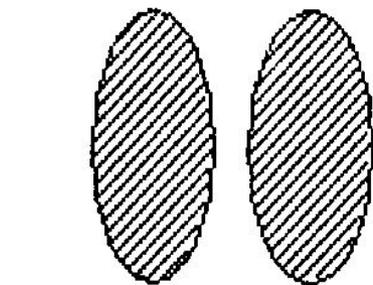
Радионуклиды для диагностики ПЩЖ

РН	$T_{1/2}$	Энергия излучения, кэВ
^{201}Tl	73,1 ч	135,3; 164,4
^{123}I	13,6 ч	159
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,02 ч	140

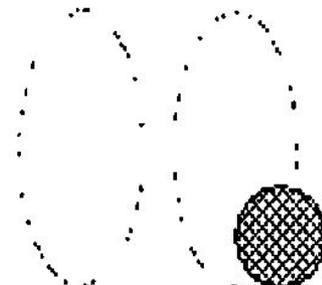
Паращитовидные железы



^{201}Tl
(ЩЖ + ПЩЖ)

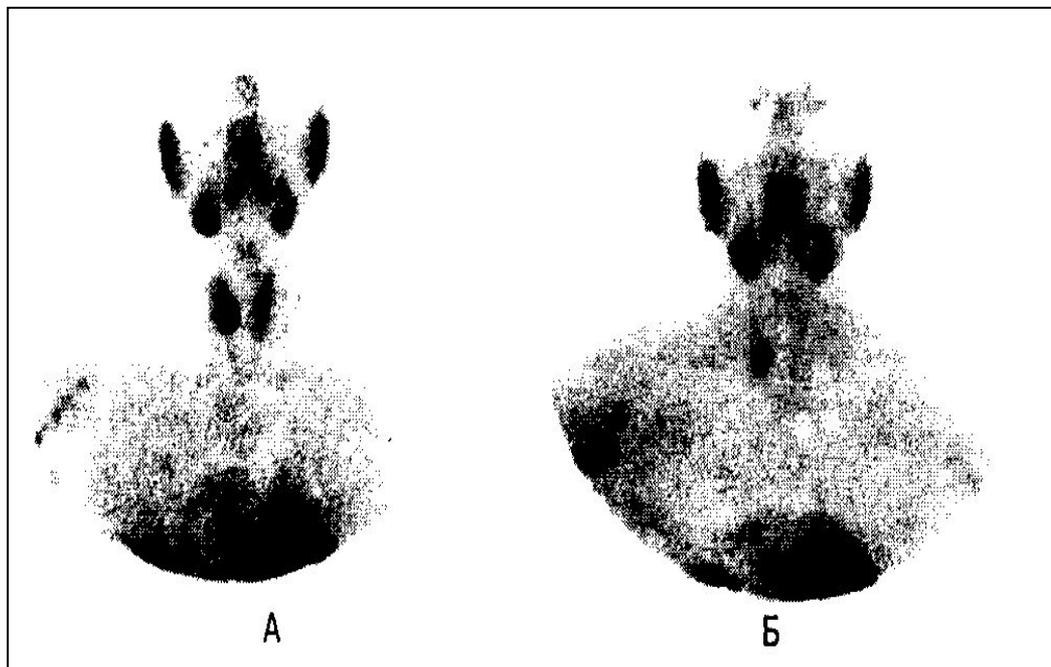


— $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$
ЩЖ



=
ПЩЖ

Схема проведения
двухизотопного
исследования
ПЩЖ

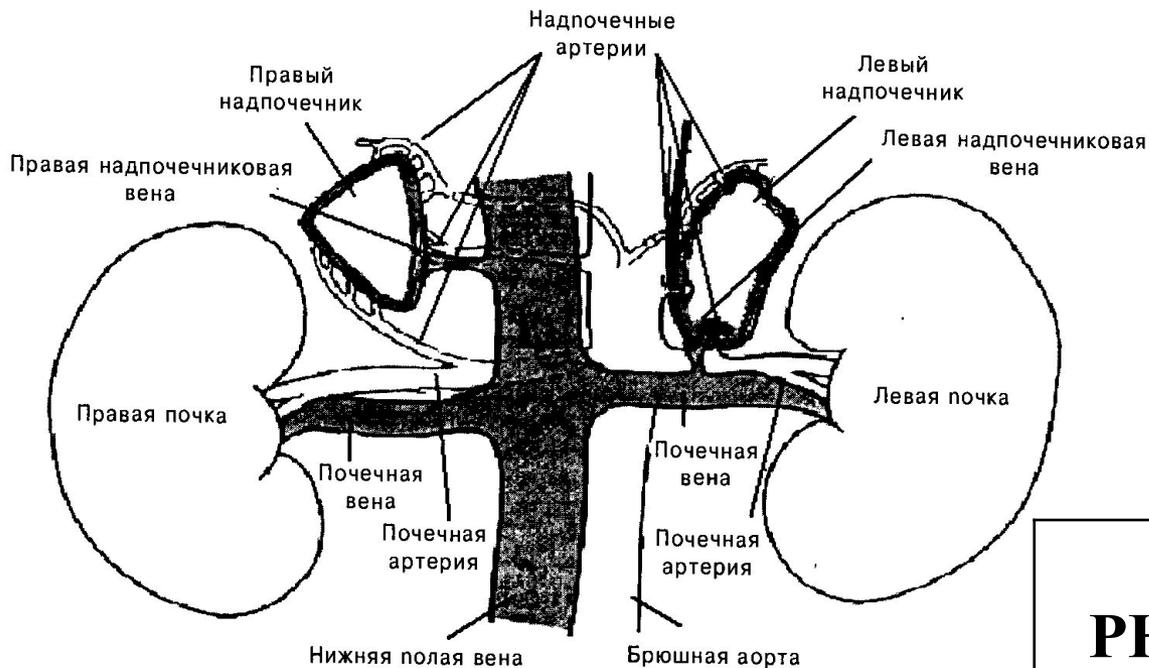


А

Б

Двухфазная
сцинтиграфия
с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -
МИБИ

Надпочечники



Анатомия надпочечников

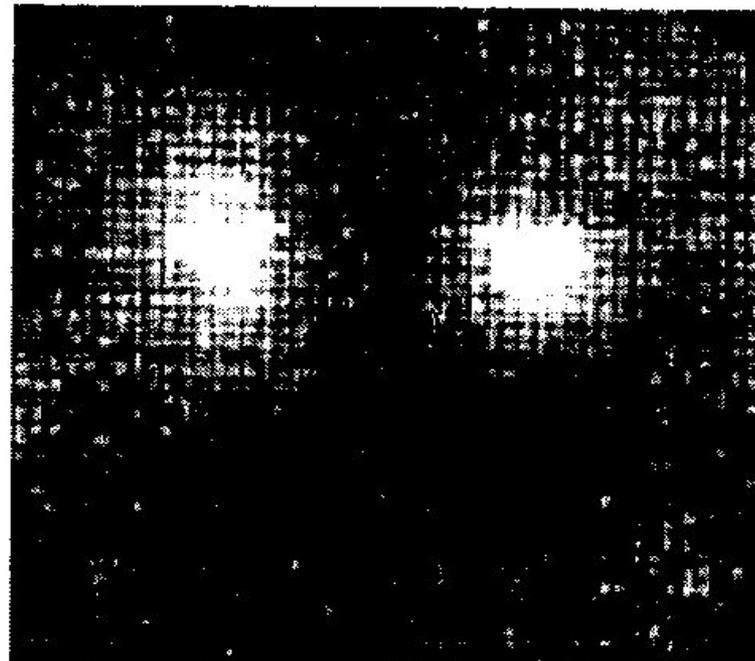
Радионуклиды для диагностики надпочечников

РН	$T_{1/2}$	Энергия излучения, кэВ
^{111}In	67,37 ч	171; 245
^{123}I	13,6 ч	159
^{131}I	8,02 сут	365

Надпочечники

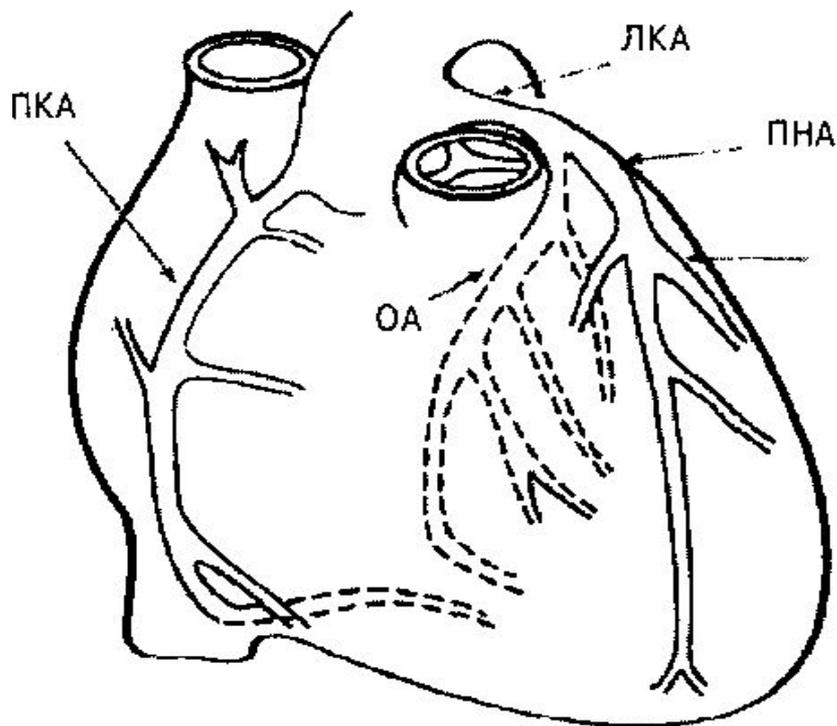


Двусторонне увеличенные
надпочечники, повышенное
накопление РФП



Ассиметричное (слева более
выражено) накопление РФП

РНД сердечно-сосудистой системы и функций сердца



Кровоснабжение сердца.

ПКА - правая коронарная артерия,

ЛКА - левая коронарная артерия,

ОА - огибающая артерия,

ПНА - передненисходящая артерия

Преимущества перфузионной сцинтиграфии миокарда:

- Высокая чувствительность
- Специфичность
- Информативность
- Неинвазивность в большинстве случаев
- Возможность количественной и качественной оценки тканевой перфузии миокарда

Радионуклиды для перфузионной сцинтиграфии миокарда

РН	Период полураспада	Энергия излучения, кэВ	Получение
^{133}Xe	5,3 сут	82	Реактор
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	13 с	190	Генератор $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$
^{43}K	22,3 ч	373; 619	Циклотрон
^{81}Rb	4,6 ч	511	Циклотрон
^{201}Tl	73,1 ч	135,3; 164,4	Циклотрон
^{199}Tl	7,4 ч	72,5	Циклотрон
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,02 ч	140	Генератор $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

Группы РФП, меченных ^{99m}Tc

- индикаторы, попадающие в миокард после их введения в коронарное русло или в полость левого желудочка (^{99m}Tc -микросферы альбумина человеческой сыворотки);
- препараты, которые аккумулируются в сердечной мышце после внутривенного введения (катионные и нейтральные комплексы ^{99m}Tc).

Проблемы использования ^{99m}Tc -микросфер альбумина

- Потенциальная возможность возникновения патологических реакций вследствие блокирования определённой части микроциркуляторного русла. (внутриартериальное введение менее 200 тысяч частиц диаметром 10-60 мкм, содержащих небольшое количество альбумина (0,04 мг) в объеме 0,1-0,5 мл, является безопасным для пациента.
- Необходимость введения РФП с помощью инвазивной методики внутриартериальной катетеризации.

Преимущества применения ^{99m}Tc - МИБИ

- Улучшенное изображение миокарда (Оптимальные скintiграфические изображения миокарда с этим РФП получаются через 30-90 минут после его инъекции.) При этом в сердце накапливается около 1,5% введенной дозы при нагрузке и 1,2% - в покое.
- Снижение дозовых нагрузок на другие органы за счет высокой скорости клиренса
- Период полувыведения ^{99m}Tc -МИБИ из миокарда составляет около 7 ч.

Методики перфузионной скintiграфии сердца.

Планарная перфузионная скintiграфия

Преимущества:

- Визуализация всех отделов миокарда левого желудочка
- Простота выполнения

Недостатки:

- Экранирование другими тканями

Методики перфузионной сцинтиграфии сердца. ОФЭКТ.

Преимущества:

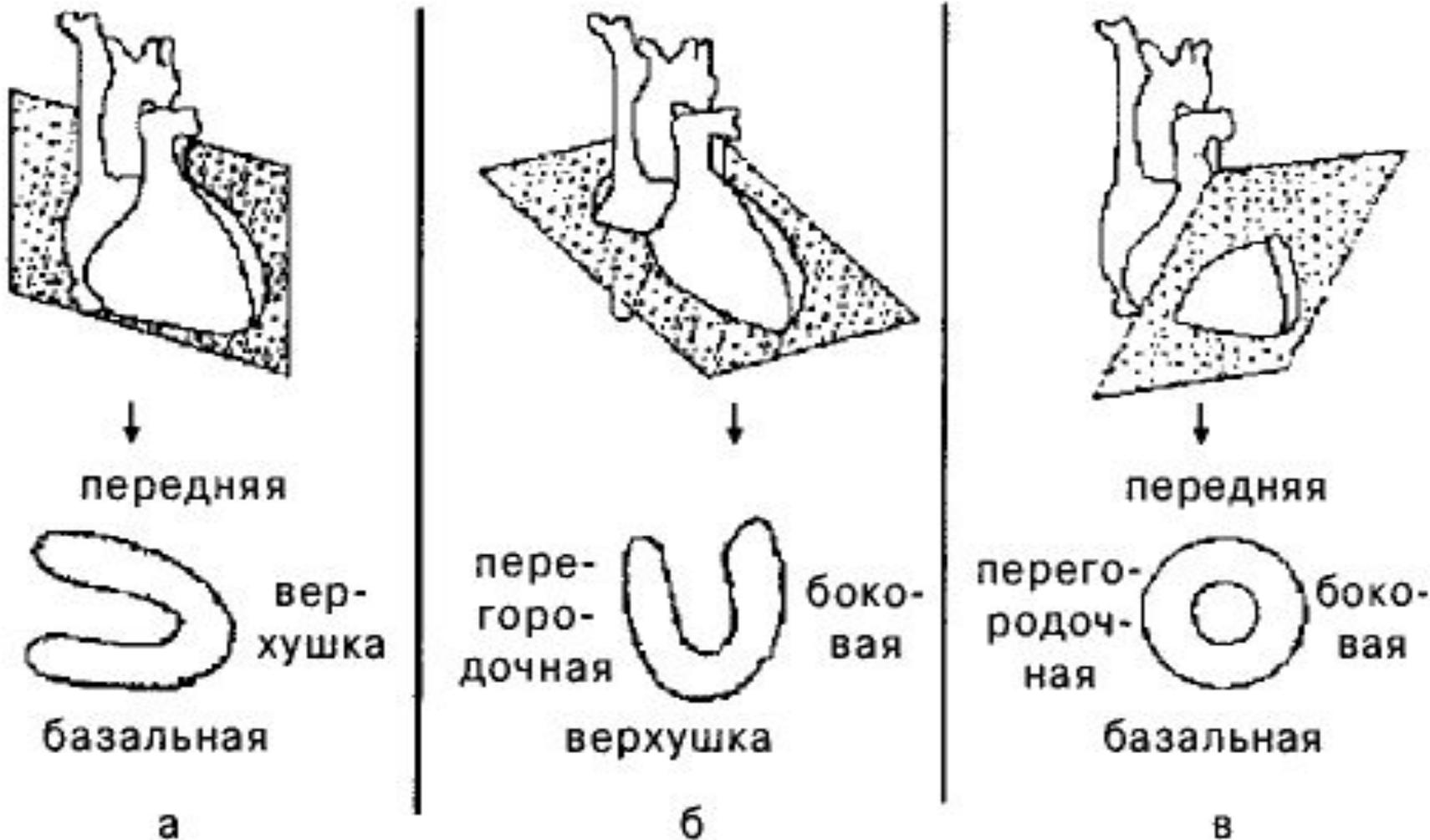
- Возможность оценить перфузию во всех отделах сердца

Недостатки:

- Длительность исследования (20 минут)
- Неудобство проведения обследования для пациента (лежа на спине с закинутыми за голову обеими руками для предотвращения экранирования миокарда (при вращении детектора на 360°) или только левой рукой (при вращении на 180°)).
- Артефакты (из-за смещения больного; структуры между миокардом и детектором гамма-камеры)

Интерпретация и компьютерная обработка полученных данных

- 1) Врач- радиолог в ходе работы определяет границы томографируемого участка с указанием числа срезов и толщины срезов.
- 2) Задаются параметры фильтрации (вид и характеристики цифрового фильтра) для улучшения соотношения сигнал/шум
- 3) Для оценки и интерпретации чаще всего используются косые томосрезы: -
вертикальные и горизонтальные сечения по длинной оси
-срезы по короткой оси сердца



Вертикальные (а) и горизонтальные (б) сечения по длинной оси, срезы по короткой оси сердца (в).

Подходы к оценке размеров дефектов перфузии.

Полуколичественный метод.

Сердце «делят» на 9 сегментов, размеры дефектов определяют как:

- Незначительные, если зоны гипоперфузии захватывают один или два сегмента;
- Умеренные, в тех случаях, когда в патологический процесс вовлечены от трех до пяти сегментов;
- Выраженные, когда ишемические явления наблюдаются в шести и более секторах.

Подходы к оценке размеров дефектов перфузии.

Количественный метод.

В основе методики лежит вычисление трех параметров:

- размеров дефектов перфузии;
- степени аккумуляции нуклида в исследуемой зоне
- «интегрального индекса дефекта перфузии» (ИИДП), связывающего два предыдущих показателя.

Вычисление величины дефектов перфузии

$$ВДП = \frac{N_{hypo}}{N_{hypo} + N_{norm}} \cdot 100\%$$

N_{hypo} - количество гипоперфузируемых сегментов;

N_{norm} - количество нормально перфузируемых сегментов.

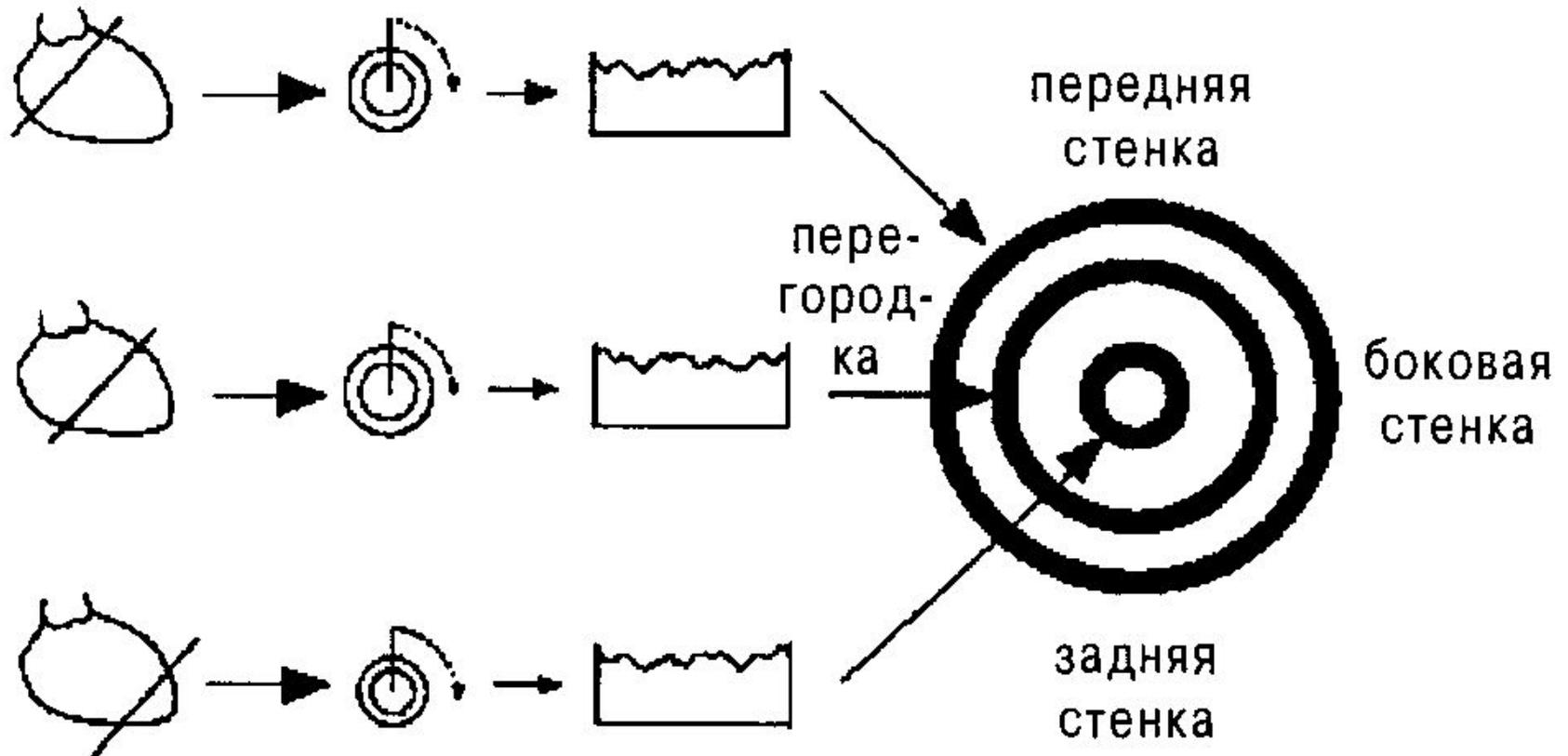
Вычисление интегрального индекса дефекта перфузии

$$ИИДП = \frac{C_{norm} - C_{hypo}}{C_{norm}} \cdot ВДП$$

C_{hypo} - средний процент накопления РФП в дефекте перфузии

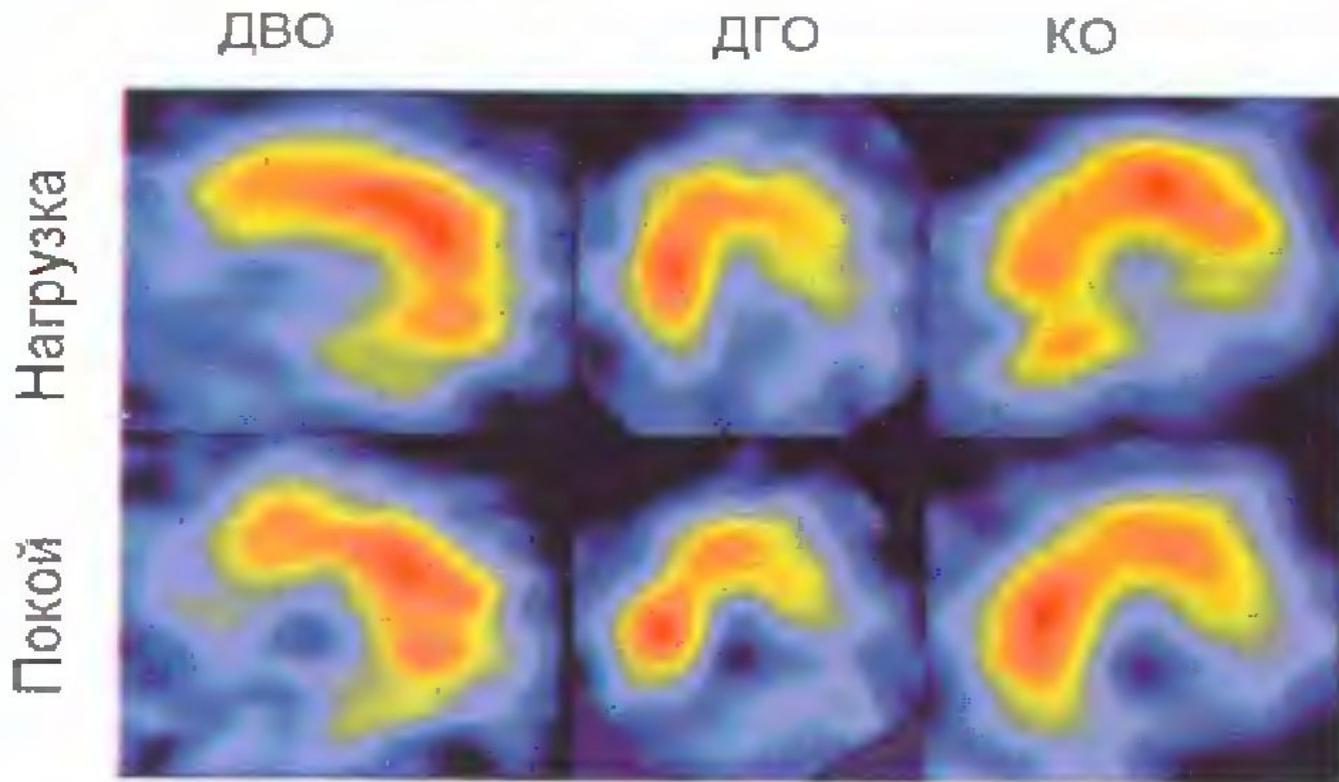
C_{norm} - средний процент накопления РФП в нормально перфузируемых сегментах

Реконструкция томосрезов методом полярного картирования.



Проблемы использования метода полярного картирования

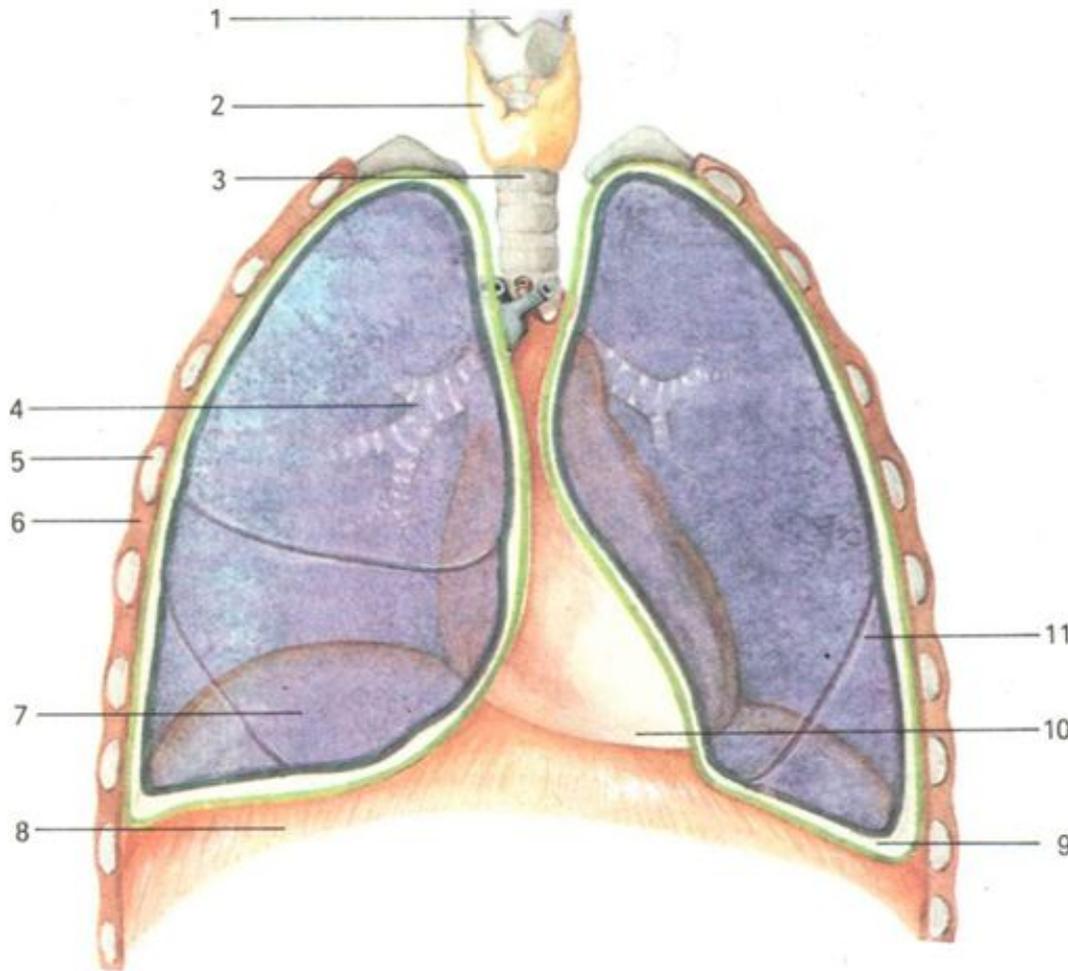
- Неудобно для врачей-кардиологов
- Проблемы, связанные с оценкой величины зон нарушенного венозного кровообращения
- Проблемы при сопоставлении скинтиграмм, полученных в покое, на пике нагрузки и в условиях перераспределения РФП



Пример томографической картины. Томосрезы сердца, полученные при нагрузке и в покое. Срезы выполнены по длинной вертикальной (ДВО), длинной горизонтальной (ДГО) и короткой (КО) осям сердца. На срезах отмечается равномерная аккумуляция РФП в миокарде.

Дыхательная система

Строение легких (общий вид)



- 1 Гортань
- 2 Щитовидная железа
- 3 Трахея
- 4 Бронхи
- 5 Ребра
- 6 Межреберные мышцы
- 7 Край печени
- 8 Диафрагма
- 9 Плевральная щель
- 10 Сердце
- 11 Граница между верхней и нижней долями легкого

Структура ветвления функциональных элементов легких



Параметры эффективного газообмена

- парциальное давление кислорода (P_{aO_2}) между 11 и 13 кПа (83-98 мм рт. ст.)
- парциальное давление углекислоты (P_{aCO_2}) на уровне 4,8-6 кПа (36- 45 мм рт. ст.).
- Эффективный газообмен возможен только при **вентиляционно-перфузионном равновесии.**

Тромбоз эмболия легочной артерии

Закупорка лёгочной артерии или её ветвей тромбами, которые образуются чаще в крупных венах нижних конечностей или таза (эмболия)

Часто возникает при:

Сердечной недостаточности (в основном у пожилых лиц)

Абдоминальных хирургических вмешательства

Урологических и акушерско-гинекологических операции

Злокачественных новообразованиях

Методы радиоизотопного исследования легких

```
graph TD; A[Методы радиоизотопного исследования легких] --> B[Перфузионный]; A --> C[Вентиляционный];
```

Перфузионный

Вентиляционный

– Позволяет оценить:

- легочную вентиляцию, состояние внешнего дыхания, бронхиальную проходимость, анатомо-физиологические нарушения в малом круге кровообращения

Перфузионный метод

- **Принцип:** временная эмболизация артериально-капиллярного русла легких (примерно 0.0001 его объема)
- **Применяемые РФП:**
 - Макроагрегаты альбумина человеческой сыворотки крови, меченные ^{99m}Tc (^{99m}Tc -МАО)
 - Микросферы человеческого альбумина, меченные ^{99m}Tc (^{99m}Tc -МСА)
- **Лучевая нагрузка:** 2.2 мЗв на легкие; 0.15 мЗв на все тело при активности 37.0 МБк

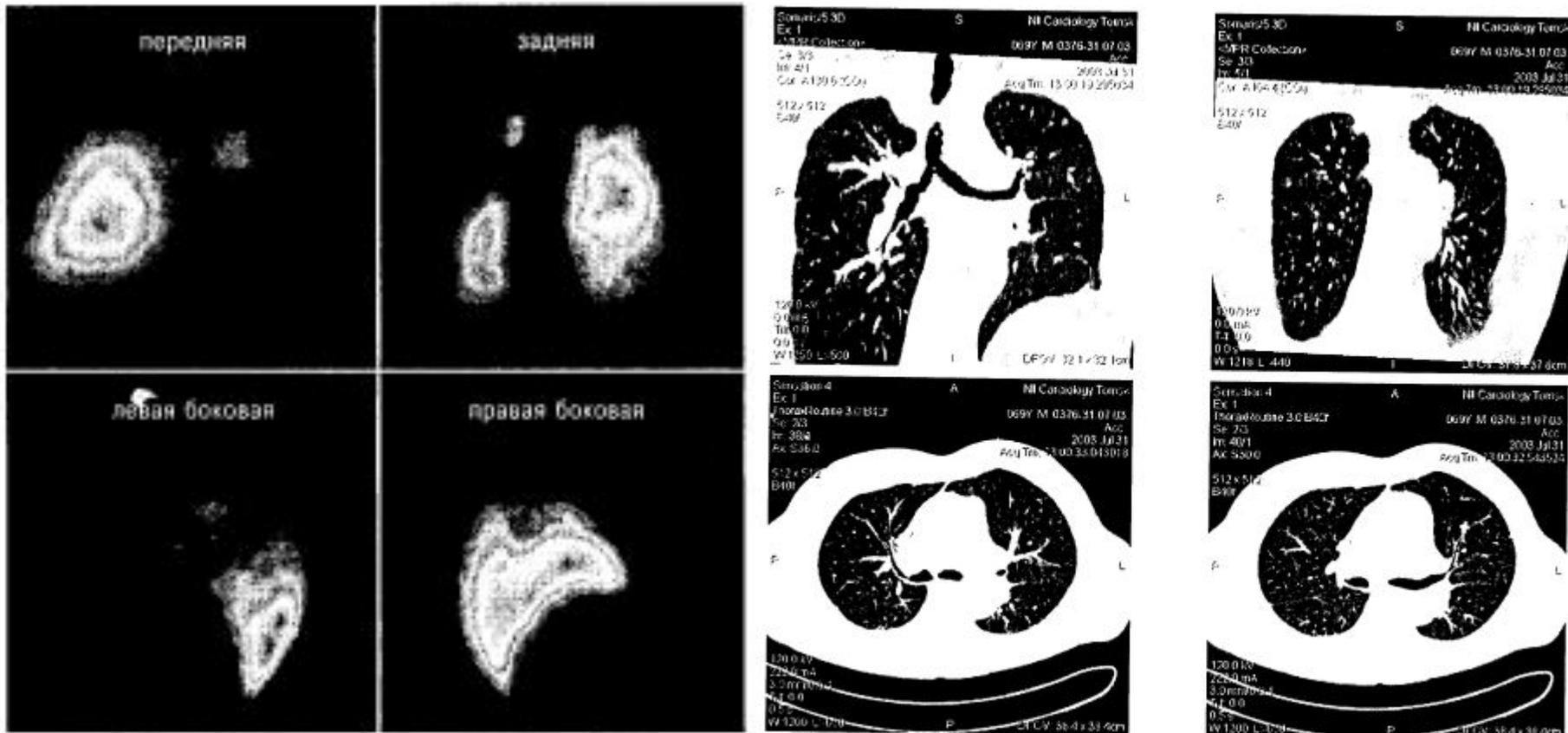
Вентиляционный метод

- **Принцип:** вдыхание излучающих инертных газов или меченных аэрозолей с целью исследования прохождения дыхательных путей
- **Применяемые РФП:**
 - ^{133}Xe , ^{127}Xe , $^{81\text{m}}\text{Kr}$
 - Аэрозоли меченные $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (микросферы альбумина (МСА); дитилен-триамин пентаацетиловая кислота (ДРТА, ДТПА))
- **Доза:** должна быть больше в 10 раз чем в перфузионном методе

Комбинирование методов радионуклидной диагностики легких

- Использование Tc в обоих методах по отдельности целесообразно, НО при последовательном сканировании обоими методами его использование невозможно
- Вентиляционную сцинтиграфию проводят перед перфузионной, применяя ^{133}Xe ($E=81$ кэВ)
- Применяя ^{127}Xe , можно проводить сначала вентиляционное исследование, НО его производство дороже

Сравнение метода радиозотопной диагностики легких с другими методами



Слева. Сцинтиграмма легких с патологией (ТЭЛА) в различных проекциях.
Справа. КТ легких с патологией в различных проекциях.

Органы	Лучевая нагрузка, мЗв		ПДД, мЗв/год
	¹⁹⁹ Tl (185 МБк)	²⁰¹ Tl (74 МБк)	
Все тело	1,25	4,7	50 1 группа органов
Тестикулы	0,75	2,5	
Яичники	1,68	11	
Красный костный мозг	1,68	8,9	
Мочевой пузырь	1,18	5,1	150 2 группа органов
Желудок	1,43	5,3	
Тонкая кишка	1,88	12	
Верхняя часть толстого кишечника	7,75	120	
Нижняя часть толстого кишечника	1,33	84	
Почки	25	110	
Печень	5,5	19	
Легкие	2,5	7,8	
Мышцы	1,73	7,6	
Сердце	4,25	7,6	
Поджелудочная железа	2,03	6,3	
Щитовидная железа	30	110	
Кожа	0,63	1,9	300 3 группа органов
Скелет	0,93	3,6	

Спасибо за внимание