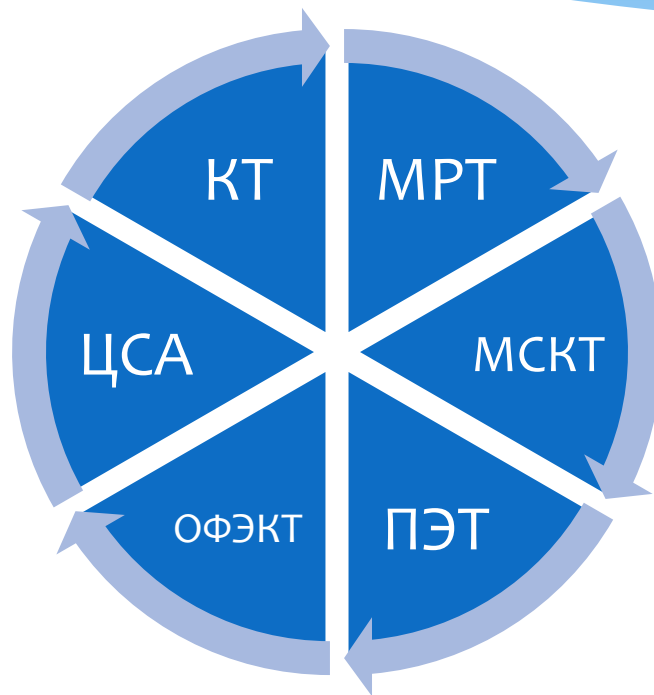


Современные методики нейровизуализации: эксплуатационный обзор

О ЧЕМ ПОЙДЕТ РЕЧЬ?

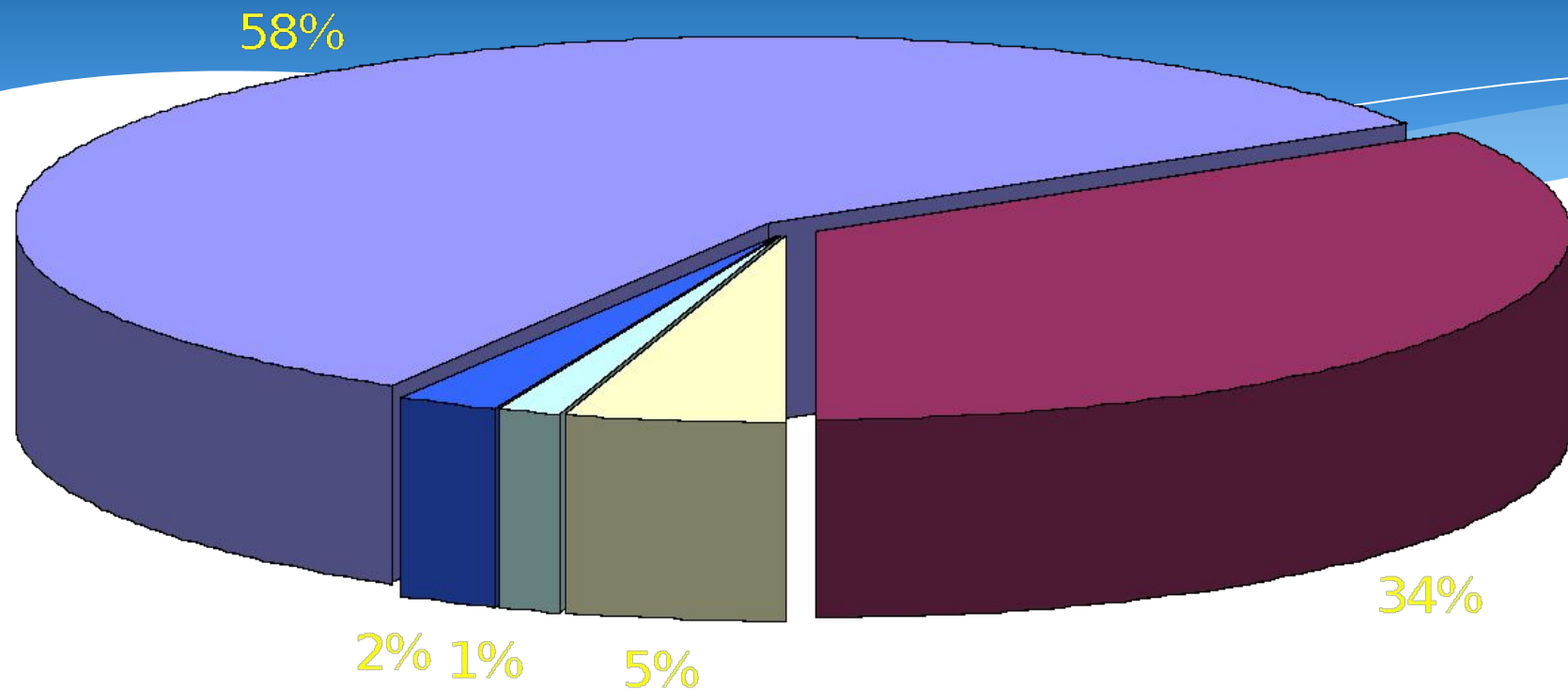


КТ

90%

10%

- мед. учреждения, оснащенные томографами
- мед. учреждения, не оснащенные томографами



Краткая история метода

- * Первые математические алгоритмы для КТ были разработаны в 1917 году австрийским математиком Радонам (преобразование Радона)
- * В 1963 году американский физик Кормак повторно (но отличным от Радона способом) решил задачу томографического восстановления, а в 1969 году британский инженер-физик Хаунсфилд из фирмы “EMI LTD” сконструировал «ЭМИ-сканер» (*EMI-scanner*) — первый компьютерный рентгеновский томограф, клинические испытания которого прошли в 1971 году, разработанный только для сканирования головы.
- * Средства на разработку КТ были выделены фирмой EMI, в частности, благодаря высоким доходам, полученным от контракта с группой The Beatles.
- * В 1979 году «за разработку компьютерной томографии» Кормак и Хаунсфилд были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине.

$$q(l, \theta) = \int_{L(l, \theta)} c(x, y) ds$$

где $q(l, \theta)$ – функция поглощения;

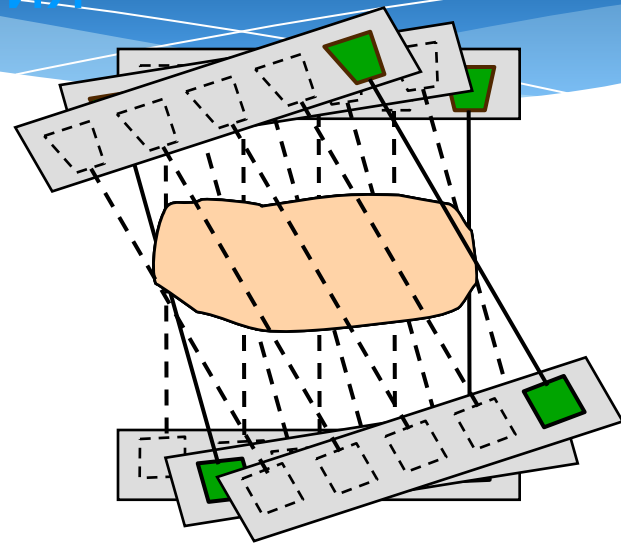
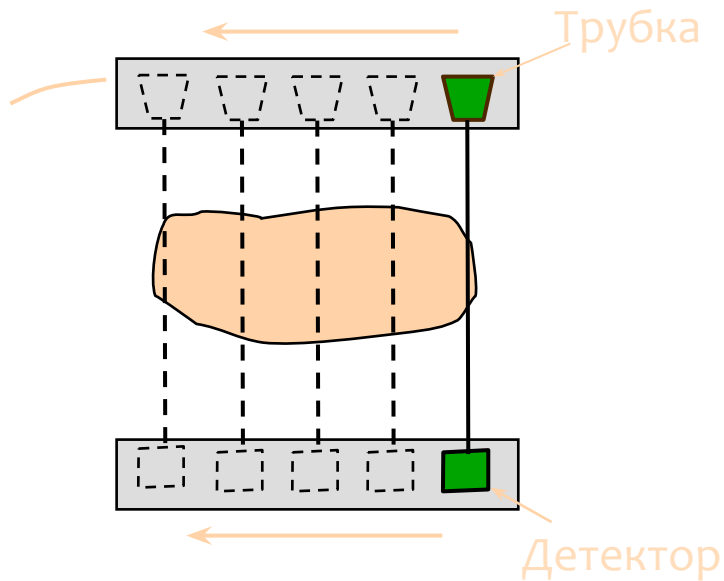
$L(l, \theta)$ - некоторый луч зрения;

$c(x, y)$ - плотность вещества на луче зрения.

Основы работы

- * Аппарат 1-го поколения появился в 1973 году. Была одна трубка, направленная на один детектор. Сканирование производилось шаг за шагом, делая по одному обороту на слой. Каждый слой обрабатывался около 4 минут.
- * Во 2-м поколении КТ-аппаратов использовался веерный тип конструкции. На кольцо вращения напротив рентгеновской трубки устанавливалось несколько детекторов. Время обработки изображения составило 20 секунд.
- * 3-е поколение компьютерных томографов ввело понятие спиральной компьютерной томографии. Трубка и детекторы за один шаг стола синхронно осуществляли полное вращение по часовой стрелке, что значительно уменьшило время исследования. Увеличилось и количество детекторов. Время обработки и реконструкций заметно уменьшилось.
- * 4-е поколение имеет 1088 люминесцентных датчиков, расположенных по всему кольцу. Вращается лишь рентгеновская трубка. Благодаря этому методу время вращения сократилось до 0,7 секунд. Но существенного

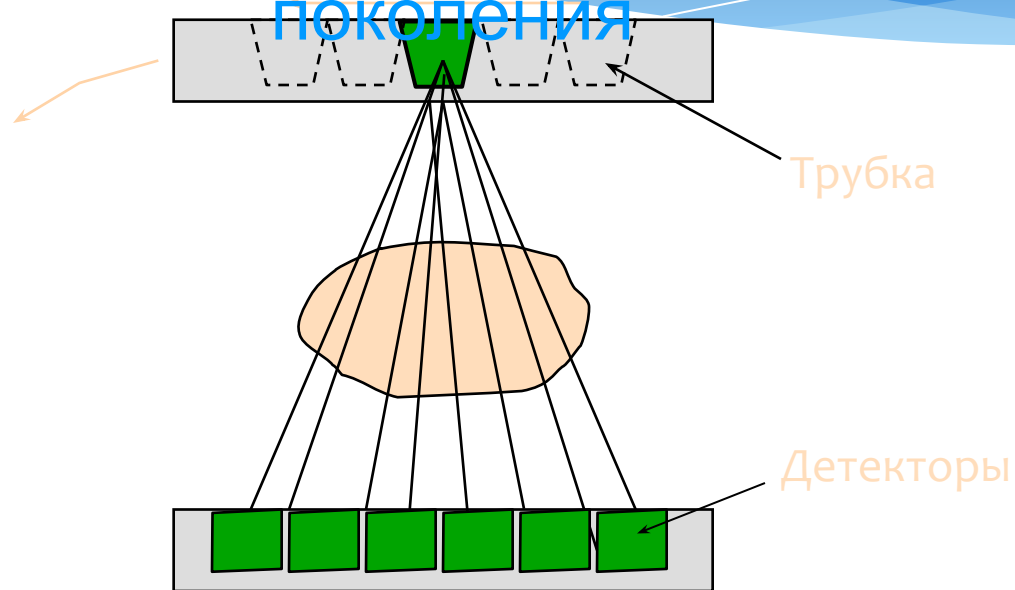
Сканер 1-го поколения



1973 г.

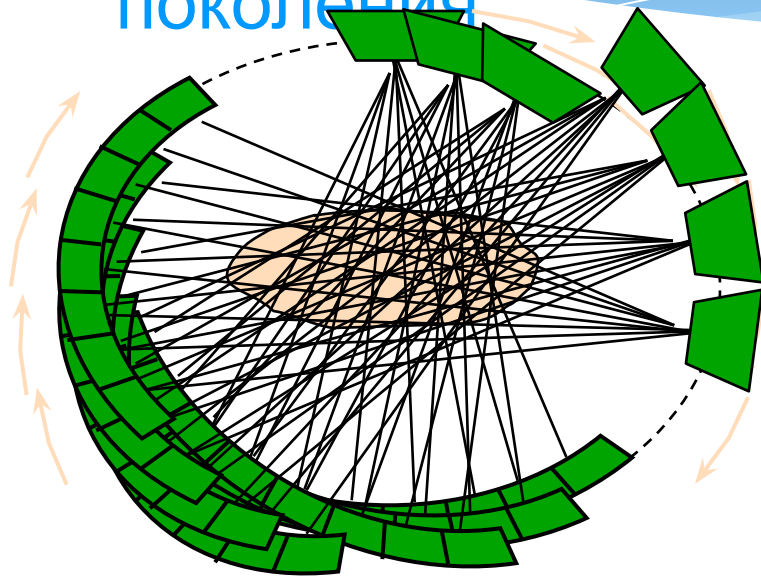
Общее время измерений (поворот на 1800)- 4,5 мин

Сканер 2-го поколения



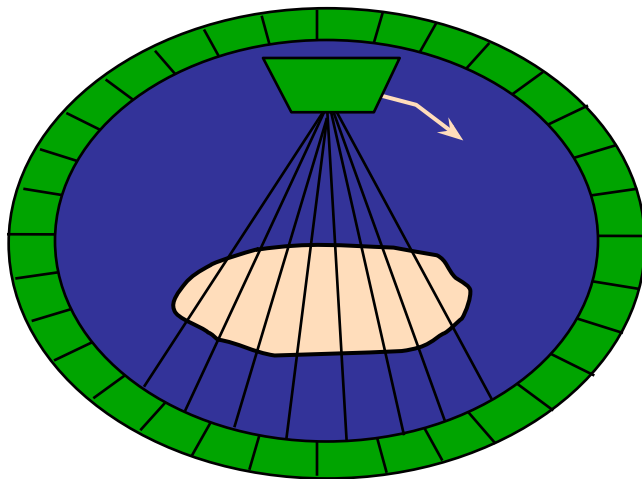
Общее время измерений - 20 с

Сканер 3-го поколения



Середина 1970-х гг.
около 700 детекторов
вращение на 360 градусов
время сканирования - 1-10 с

Сканер 4-го поколения



1088 люминисцентных датчиков
время сканирования - 1мс на каждую проекцию

* Томографический эффект можно получить при следующих комбинациях:

- * неподвижный объект и движущиеся источник (рентгеновская трубка) и приемник (рентгенографическая пленка, селеновая пластина, кристаллический детектор и т.п.);
- * неподвижный источник излучения и движущиеся объект и приемник излучения
- * неподвижный приемник излучения и движущиеся объект и источник излучения

- * В системе сбора данных ток от каждого детектора (500-2400 шт.) преобразуется в цифровой сигнал и после усиления подается на компьютер для обработки и хранения. Только после этого начинается процесс восстановления изображения.
- * Восстановление изображения среза по сумме собранных проекций является чрезвычайно сложным процессом, и конечный результат представляет собой некую матрицу с относительными числами, соответствующую уровню поглощения каждой точки в отдельности.
- * В компьютерных томографах применяются матрицы первичного изображения 256x256, 320x320, 512x512 и 1024x1024 элементов.

* Для получения более четкого изображения патологически измененных зон в головном мозге используют эффект усиления контрастности, который осуществляется внутривенным введением рентгеноконтрастного вещества.

* Увеличение плотности изображения на компьютерной томограмме после внутривенного введения контрастного вещества объясняется внутри- и внесосудистыми компонентами. Внутрисосудистое усиление находится в прямой зависимости от содержания йода в циркулирующей крови.

Нормальное увеличение плотности мозга на компьютерной томограмме после введения контрастного вещества связано с внутрисосудистой концентрацией йода. Можно получить изображение сосудов диаметром до 1,5 мм, если уровень йода в крови составляет примерно 4 мг/мл и при условии, что сосуд расположен перпендикулярно к плоскости среза. Наблюдения привели к выводу, что контрастное вещество накапливается в опухолях.

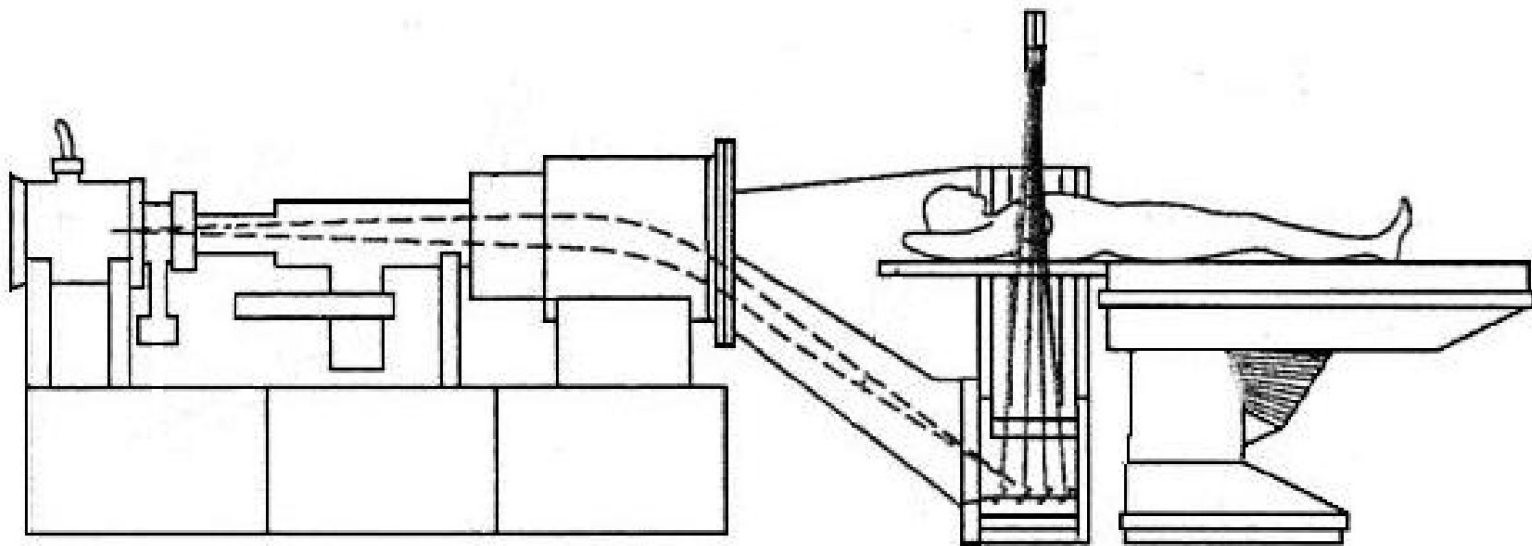
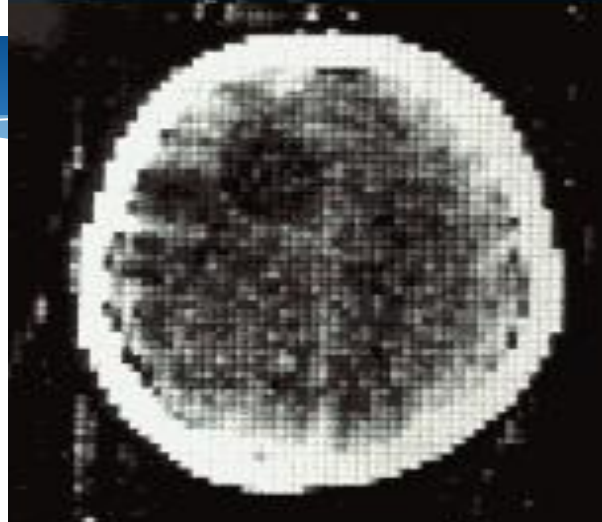


Схема электронно-лучевого томографа:

- 1 – электронная пушка;
- 2 – поток электронов;
- 3 – фокусирующая катушка;
- 4 – направляющая катушка;
- 5 – мишень;
- 6 – детекторы

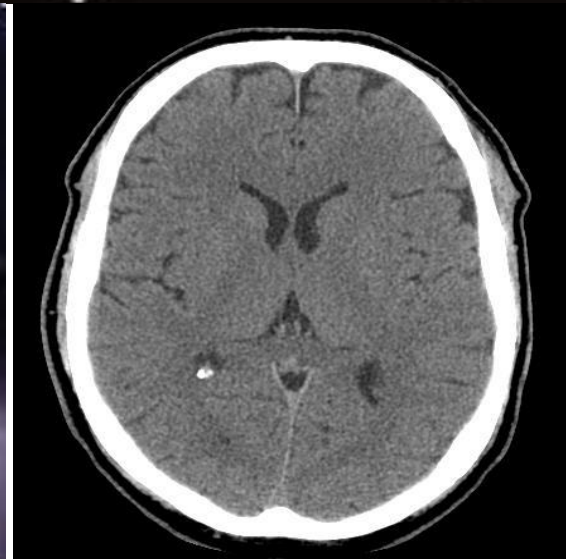


1972 г.

матрица 80x80

8 оттенков серого

4 минуты/оборот



2004 г.

матрица 512x512

1024 оттенка серого

0,5 с/оборот



В каких случаях выполнять?

- * Исследование основания черепа;
- * Исследование внутричерепных гематом и травм черепа;
- * Исследования последствий травм мозга;
- * Исследование опухолей и нарушения кровообращения в мозгу;
- * Поражения костей черепа, пазух, желез;
- * Определение поражений сосудов атеросклерозом и аневризмой;



MCKT

Отделение Компьютерной Томографии

основано в 1994 году



- * Отличие МСКТ от обычной компьютерной томографии состоит в применяемом оборудовании, в его возможностях.
- * В МСКТ особенность томографов последних разработок, заключается в том, что один поток рентгеновских лучей улавливается сразу несколькими рядами детекторов.
- * Такие томографы за одно вращение сканируют весь орган. Это разрешает получить сразу несколько сотен срезов, увеличивается четкость снимков, а также сокращается время сканирования, что снижает лучевую нагрузку.
- * Доза облучения пациента снижена в три раза по сравнению в отличие от КТ.



MPT

ИСТОРИЯ

- * Годом основания магнитно-резонансной томографии принято считать 1973 г., когда профессор химии Пол Лотербур опубликовал в журнале Nature «Создание изображения с помощью индуцированного локального взаимодействия; примеры на основе магнитного резонанса». Позже Питер Мэнсфилд усовершенствовал математические алгоритмы получения изображения. За изобретение метода МРТ оба исследователя в 2003 году получили Нобелевскую премию по медицине.
- * Однако имеются сведения о том, что В. А. Иванов в 1960 году направил в Госкомитет СССР по делам изобретений и открытий по делам изобретений заявку на патент «Способ определения внутреннего строения материальных тел» за номером 0659411/26 (включая методику и устройство прибора), в которой были сформулированы принципы метода МРТ и приведена схема томографа.
- * За изобретение метода МРТ Питер Мэнсфилд и Пол Лотербур получили в 2003 году Нобелевскую премию в области медицины.



Достоинства МРТ

- * Неинвазивность
- * Отсутствие ионизирующего излучения
- * Трехмерный характер получения изображений
- * Высокий мягкотканый контраст
- * Естественный контраст от движущейся крови
- * Высокая диагностическая эффективность

Компоненты МР томографа

- * Магнит – создает статическое однородное магнитное поле
- * Градиентные катушки – слабое переменное магнитное поле
- * Радиочастотные катушки – передают радиочастотный импульс и принимают МР сигнал
- * Компьютер – управление томографом, получение и обработка МР сигнала, реконструкция МР изображений

Принцип МРТ

1. Помещение пациента в статическое магнитное поле
 - протоны ориентируются вдоль магнитного поля
2. Добавление переменного поля для выбора среза в теле пациента
3. Передача РЧ импульса
 - энергия импульса передается протонам
4. Протоны отдают полученную энергию
 - в приемных катушках индуцируется электрический ток
5. МР сигнал преобразуется компьютером и используется для построения изображений

Медицинское оборудование и устройства



МРТ несовместимые

- Ферромагнитные аневризматические клипсы (Drake, Heifetz, Kapp, Mayfield, Sundt-Kees)
- Многие водители ритма (Cosmos II, Delta TRS, KAPPA DR706, Nova Model)
- Стент Zenith AAA Endovascular Graft - Cook, Inc.
- Инсулиновые насосы (Cozmo Insulin Pump, MiniMed Insulin Pump, Stryker PainPump 2)
- Некоторые экспандеры для молочных желез (Style 133 with MAGNA-SITE Injection Site magnetic port - McGhan Medical/INAMED Aesthetics,)

Радиочастотные катушки



Коленная катушка



Головная катушка



Нейроваскулярная катушка

- Существуют РЧ-катушки для исследования головного мозга, позвоночника, сосудов шеи, молочных желез, коленного сустава, плечевого сустава и многие другие.
- При покупке МР-томографа его комплектование набором РЧ-катушек осуществляется в соответствии с потребностями конкретного лечебного учреждения, поэтому большинство отделений МРТ не обладает возможностью проведения полного спектра МР-обследований.



Режимы: T₁, T₂, STIR, FLAIR

- 
- * Время спин-решеточной релаксации (T_1), время спин-спиновой релаксации (T_2) являются свойствами спинов тканей.
 - * Значения этих величин меняются от одной нормальной ткани к другой и от одной больной ткани к другой. Поэтому они создают контрастность между тканями в различных типах изображений

T1-взвешенное изображение

Жировая ткань
(яркая)

Кортикальная кость
(нет протонов)



Серое вещество

СМЖ
(темная)

Белое вещество

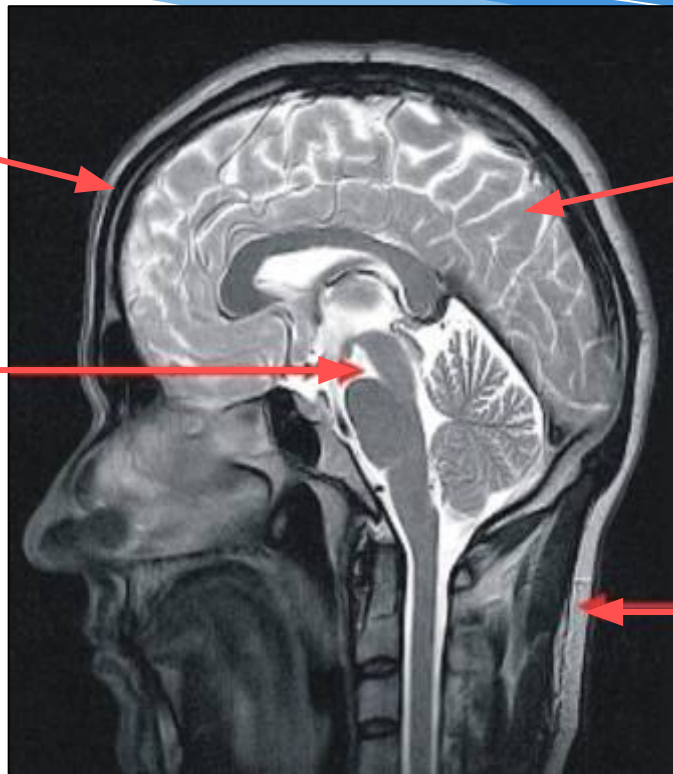
T2-взвешенное изображение

Кортикальная кость
(нет протонов)

СМЖ
(яркая)

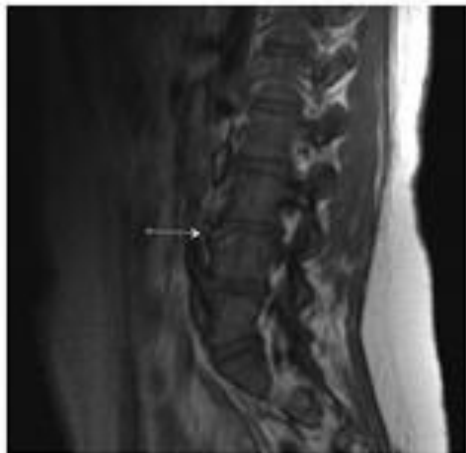
Серое вещество

Жировая ткань
(яркая)



STIR

- * Сокращение «short tau inversion recovery». Объединяет режимы T1 и T2. Приводит к подавлению сигнала от жира
- * В основном используется при исследованиях позвоночника и орбит.



а



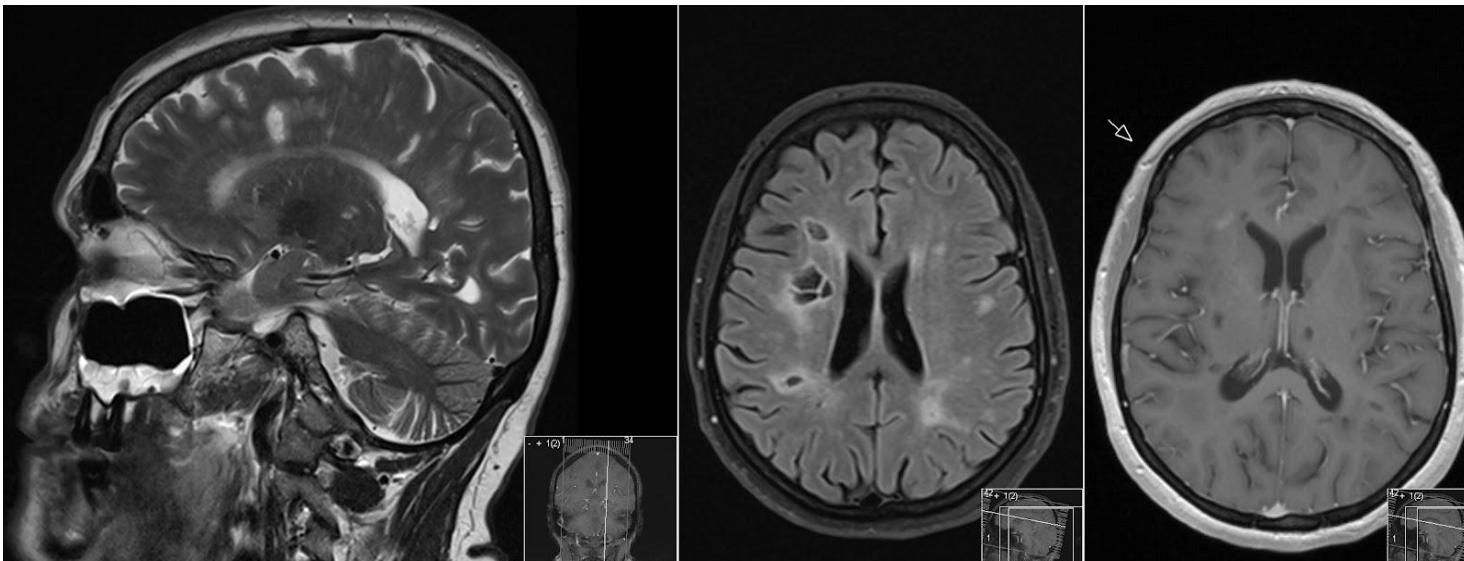
б



в

FLAIR

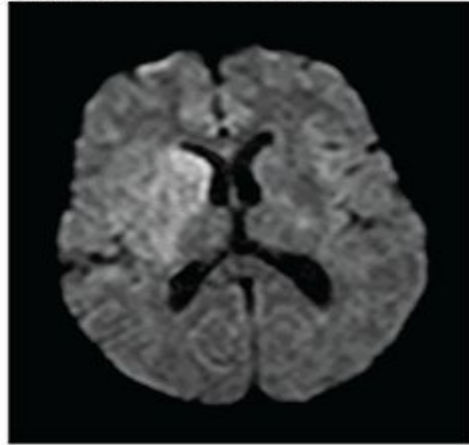
- * Режим инверсии-восстановления с редукцией сигнала от свободной жидкости. Незаменимый режим для оптимизации изображения белого вещества. Используется в МР диагностике рассеянного склероза, различных лейкопатий и т.д.



Диффузионно-взвешенная томография

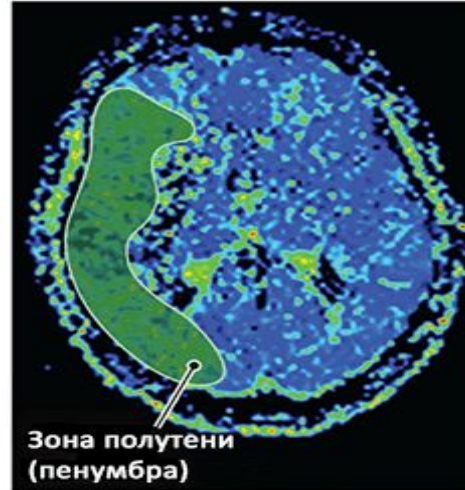
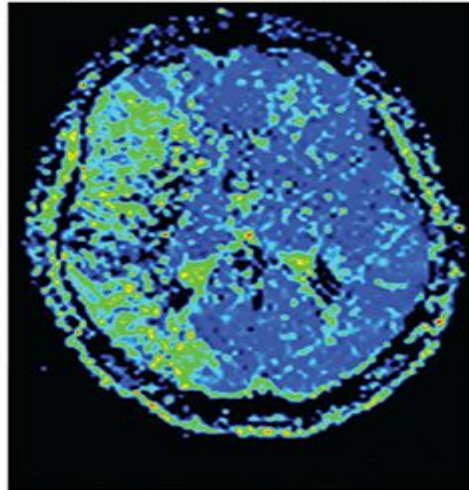
- * Диффузионно-взвешенная томография — методика магнитно-резонансной томографии, основанная на регистрации скорости перемещения меченных радиоимпульсами протонов.
- * Первоначально и наиболее эффективное применение при диагностике острого нарушения мозгового кровообращения, по ишемическому типу, в острейшей и острой стадиях.
- * Сейчас активно используется в диагностике онкологических заболеваний.

Диффузно взвешенное МРТ



www.minclinic.ru www.minclinic.ru www.minclinic.ru www.minclinic.ru

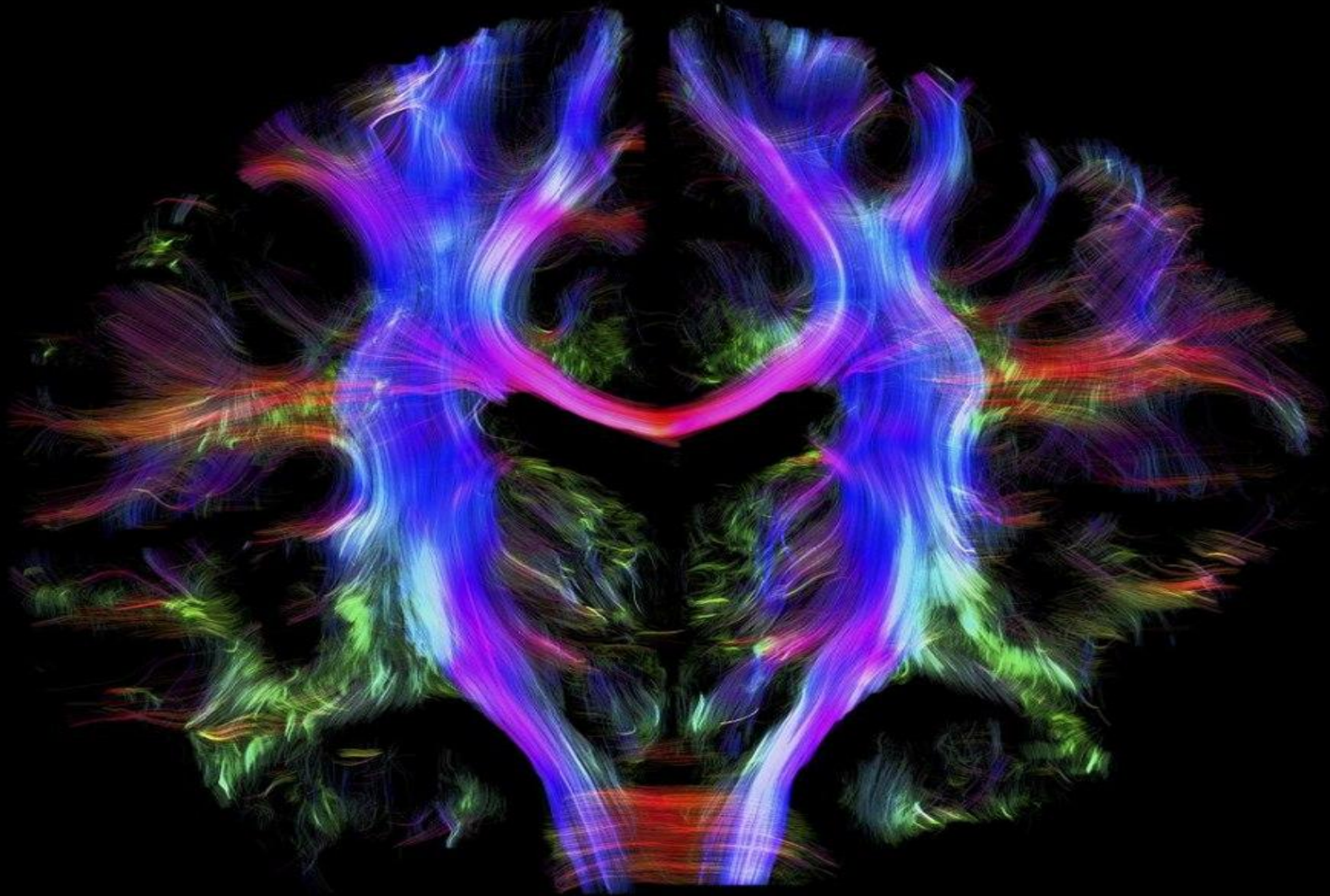
Перфузионно взвешенное МРТ



- * Диффузионно-взвешенное МРТ (DWI) показывает гиперинтенсивность, которая соответствует необратимой ишемии в глубине бассейна правой средней мозговой артерии.
- * При перфузионно-взвешенной МРТ (PWI) используется контрастное вещество для оценки мозгового кровотока. Цветовая шкала представляет собой усредненное время прохождения контрастного вещества через ткани мозга; синий цвет обозначает нормальное время транзита, а оттенки зеленого, желтого, оранжевого и красного указывают на задержку контраста (зоны ишемии).

Диффузионно-тензорная трактография

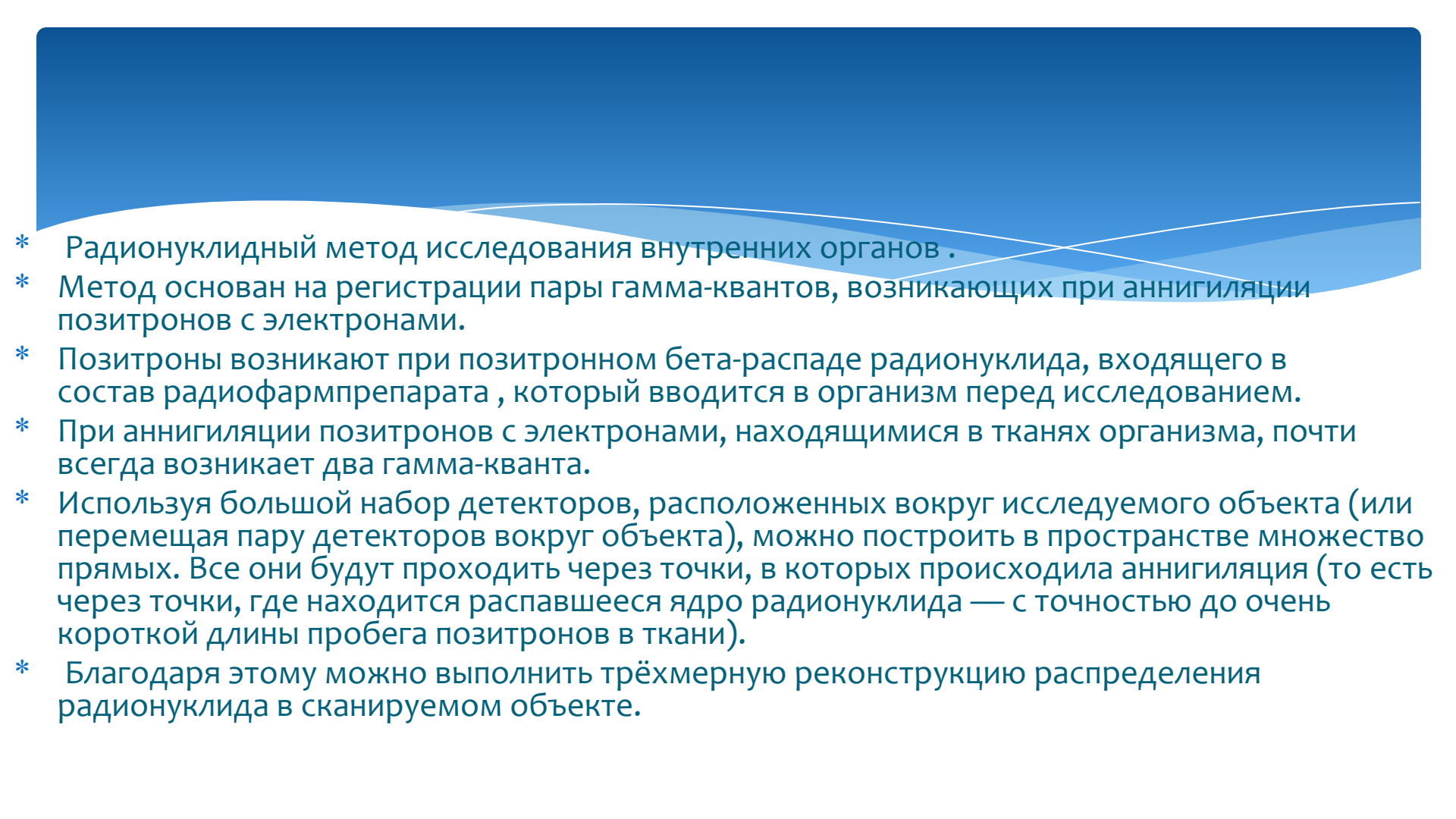
- * Диффузия в биологических тканях ограничена множеством препятствий, такими как стенки клеток и нейронные тракты, а характеристики диффузии в тканях изменяются при некоторых заболеваниях центральной нервной системы.
- * Измерив тензор диффузии, можно рассчитать направление максимальной диффузии и тем самым получить информацию о геометрическом строении тканей человека, например, направлении крупных пучков нервных волокон.





ПЭТ



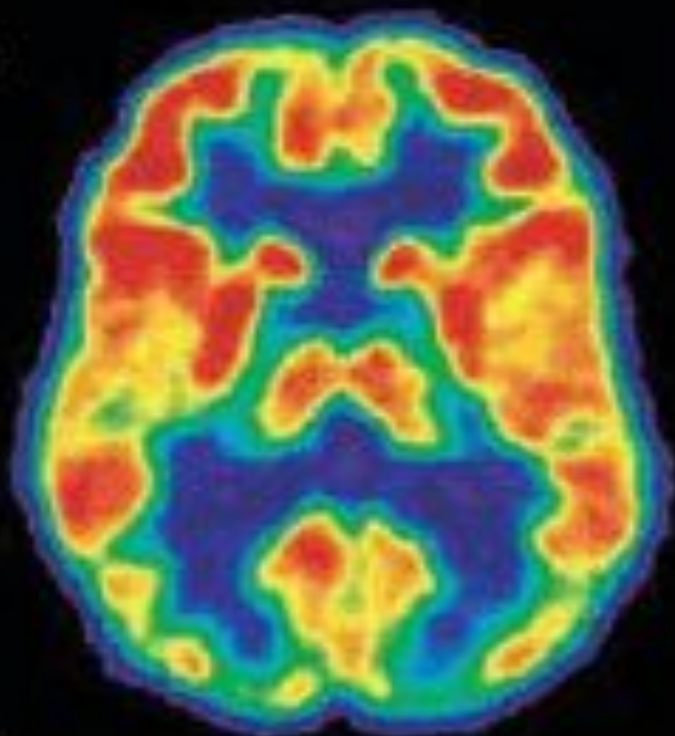
- 
- * Радионуклидный метод исследования внутренних органов .
 - * Метод основан на регистрации пары гамма-квантов, возникающих при аннигиляции позитронов с электронами.
 - * Позитроны возникают при позитронном бета-распаде радионуклида, входящего в состав радиофармпрепарата , который вводится в организм перед исследованием.
 - * При аннигиляции позитронов с электронами, находящимися в тканях организма, почти всегда возникает два гамма-кванта.
 - * Используя большой набор детекторов, расположенных вокруг исследуемого объекта (или перемещая пару детекторов вокруг объекта), можно построить в пространстве множество прямых. Все они будут проходить через точки, в которых происходила аннигиляция (то есть через точки, где находится распавшееся ядро радионуклида — с точностью до очень короткой длины пробега позитронов в ткани).
 - * Благодаря этому можно выполнить трёхмерную реконструкцию распределения радионуклида в сканируемом объекте.

- 
- * Получение функциональных изображений ПЭТ позволяет получать функциональные изображения, отражающие процессы жизнедеятельности органов и тканей организма человека на молекулярном уровне, включая метаболизм глюкозы и утилизацию кислорода, оценку кровотока и перфузии, оценку концентрации и сродства специфических рецепторов.

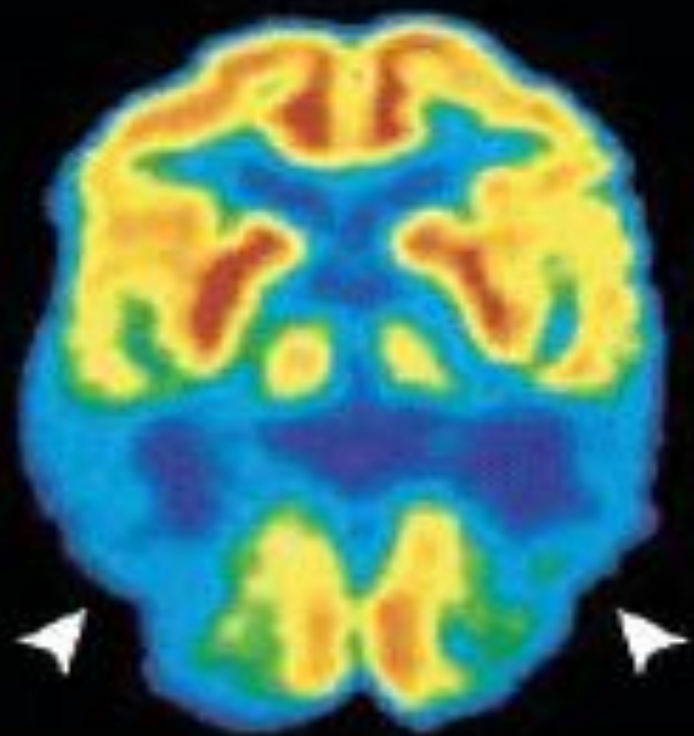
High
Activity



Low
Activity



Норма



Болезнь Альцгеймера

Рис. 8. ПЭТ в норме и при болезни Альцгеймера

Радиофармпрепараты

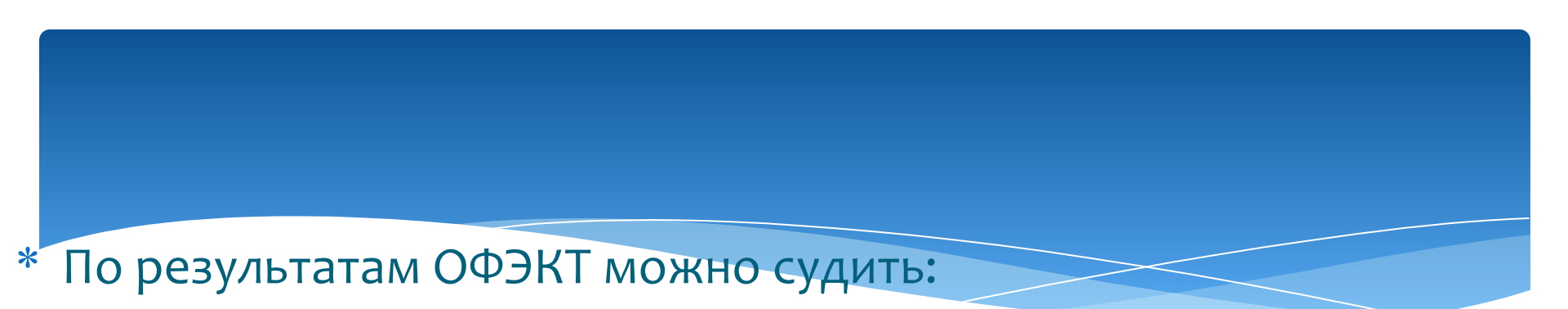
- * Аналоги природной глюкозы: ^{18}F -фтордезоксиглюкоза (^{18}F -ФДГ), ^{11}C -D-глюкоза- используются для оценки скорости метаболизма глюкозы,
- * Меченная вода служит для оценки мозгового кровотока, $^{15}\text{O}_2$ – для оценки метаболизма кислорода.
- * ^{11}C -метил-L-метионин, ^{11}C -лейцин, ^{18}F -тирозин, ^{18}F -фторхолин – для определения уровня метаболизма и транспорта аминокислот и синтеза белков,
- * ^{18}F -фтортимидин для оценки скорости пролиферации опухолевых клеток, ^{18}F -формизонидазол для выявления тканевой гипоксии.

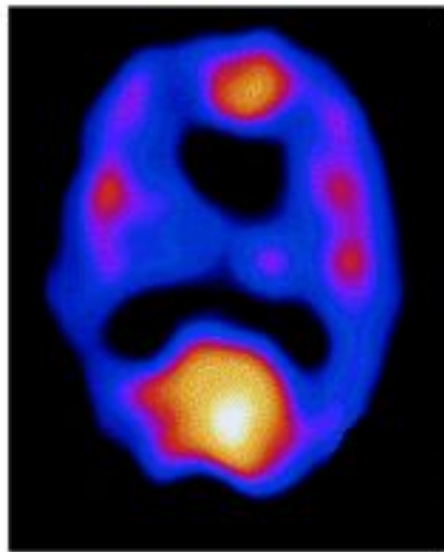


ОФЭКТ

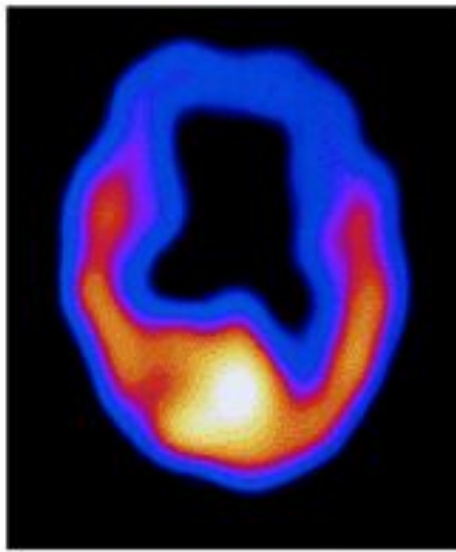
Single-photon emission computed tomography, SPECT

- * Разновидность эмиссионной томографии; диагностический метод создания томографических изображений распределения радионуклидов.
- * В ОФЭКТ применяются радиофармпрепараты, меченные радиоизотопами, ядра которых при каждом акте радиоактивного распада испускают только один гамма-квант (фотон) (для сравнения, в ПЭТ используются радиоизотопы, испускающие позитроны).
- * Применяется для диагностики опухолей головного мозга
- * Данная технология позволяет формировать 3D-изображения

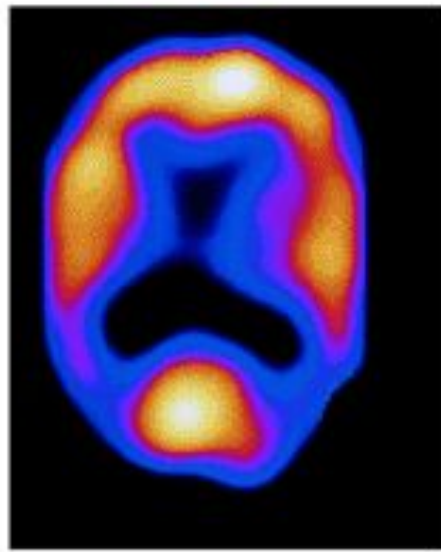
- 
- * По результатам ОФЭКТ можно судить:
 - об особенностях кровоснабжения;
 - о насыщении кислородом различных тканей;
 - о характере обменных процессов.
 - * Это дает возможность специалистам определить наличие проблемных зон тогда, когда:
 - опухолевые клетки уже появились, но опухоль еще не сформировалась;
 - у рака нет четких границ.



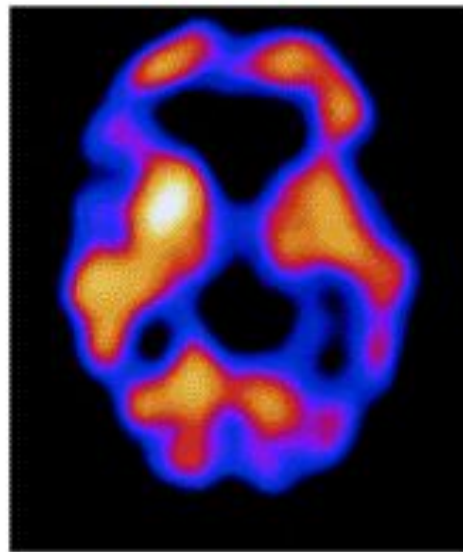
А



Б



В



Г

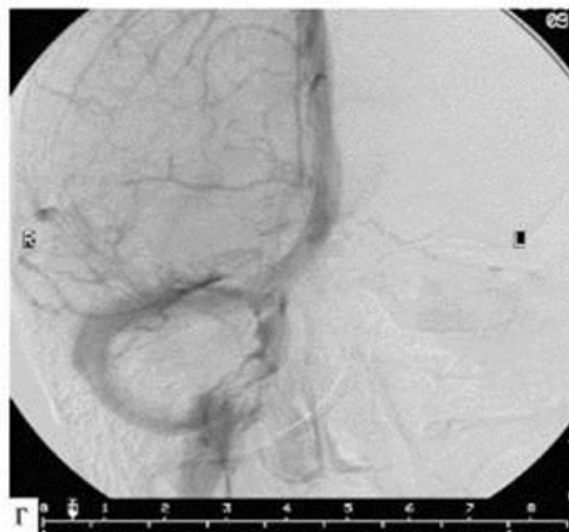
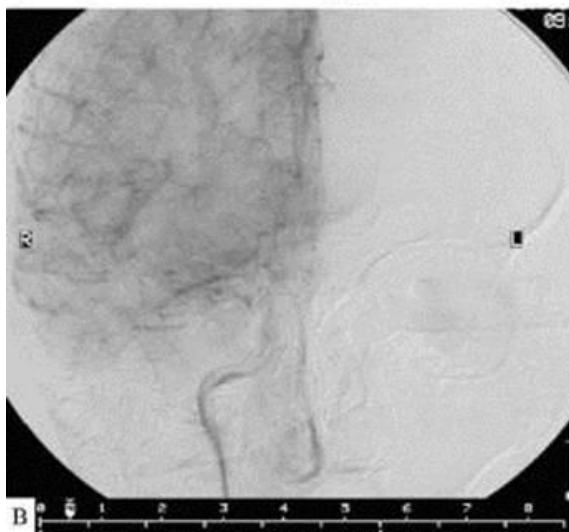
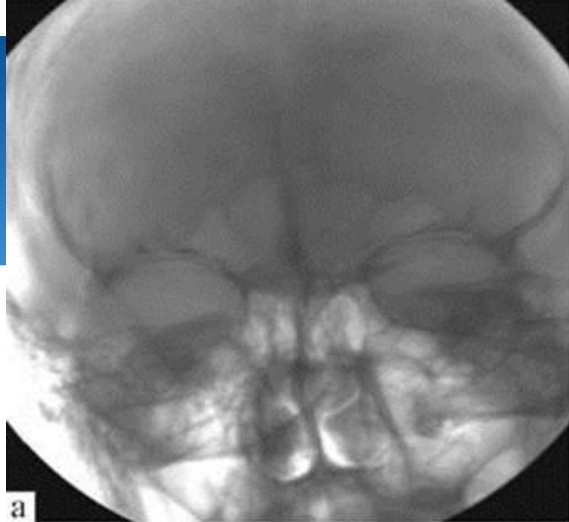
Варианты изменения церебральной перфузии (по данным ОФЭКТ с ^{99m}Tc -ГМАПО) у больных с различными нозологическими формами паркинсонизма: А — диффузное снижение церебральной перфузии у больного БПД; Б — избирательное снижение перфузии лобных отделов у больного с прогрессирующим надъядерным параличом; В — снижение перфузии в височно-теменной области у больного БА с паркинсонизмом; Г — снижение перфузии мозжечка у больного МСА.



ЦСА

Digital subtraction angiography (DSA)

- * Контрастное исследование сосудов с последующей компьютерной обработкой.
- * Оно позволяет получить снимки высокого качества с выделением отдельных сосудов из общей картины, при этом можно уменьшить количество вводимого контрастного вещества и это вещество можно вводить внутривенно, не прибегая к катетеризации артерии, что менее травматично для пациента.



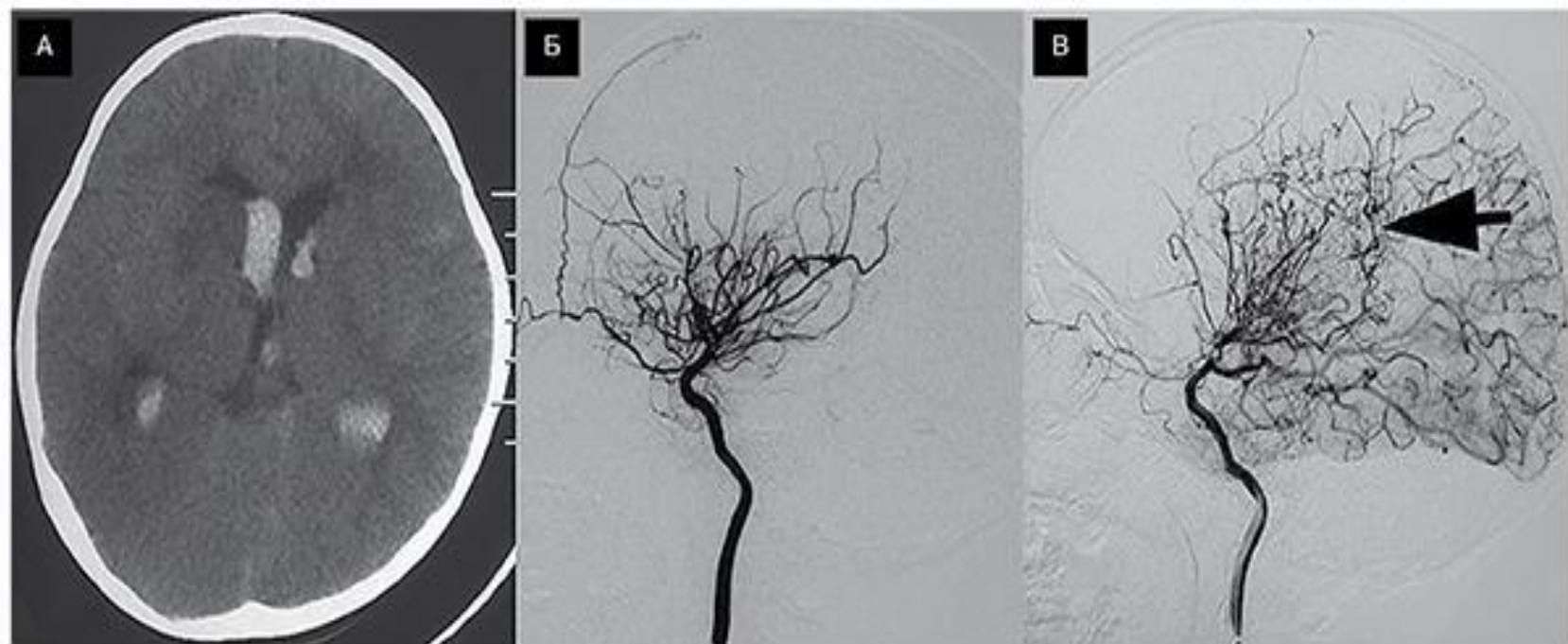


Рисунок 1. А. 10-летний мальчик с внезапно развившимся внутрижелудочковым кровоизлиянием. Б и В. При проведении двусторонней ангиографии внутренних сонных артерий (ВСА) подтвердили диагноз болезни мойя-мойя. В. На ангиограмме правой внутренней сонной артерии выявлено anomальное расширение передней хориоидальной артерии и задней соединительной артерии (степень 2).

Спасибо за внимание!

