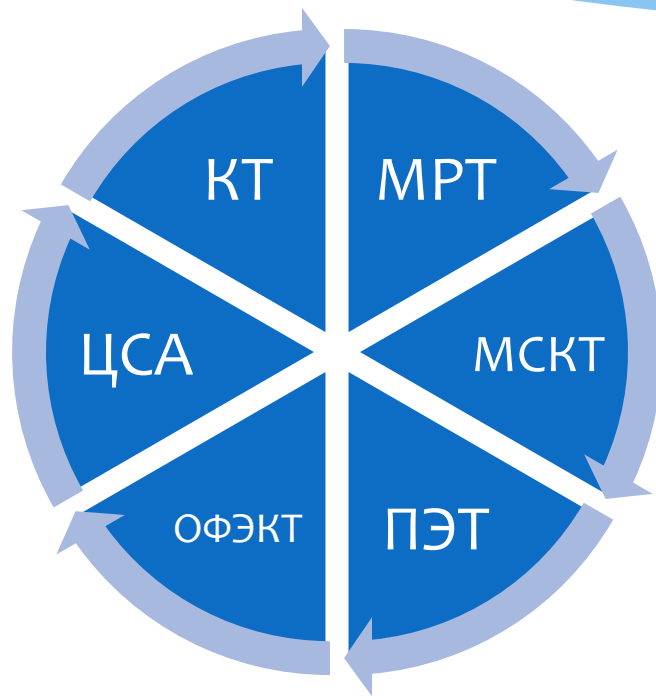
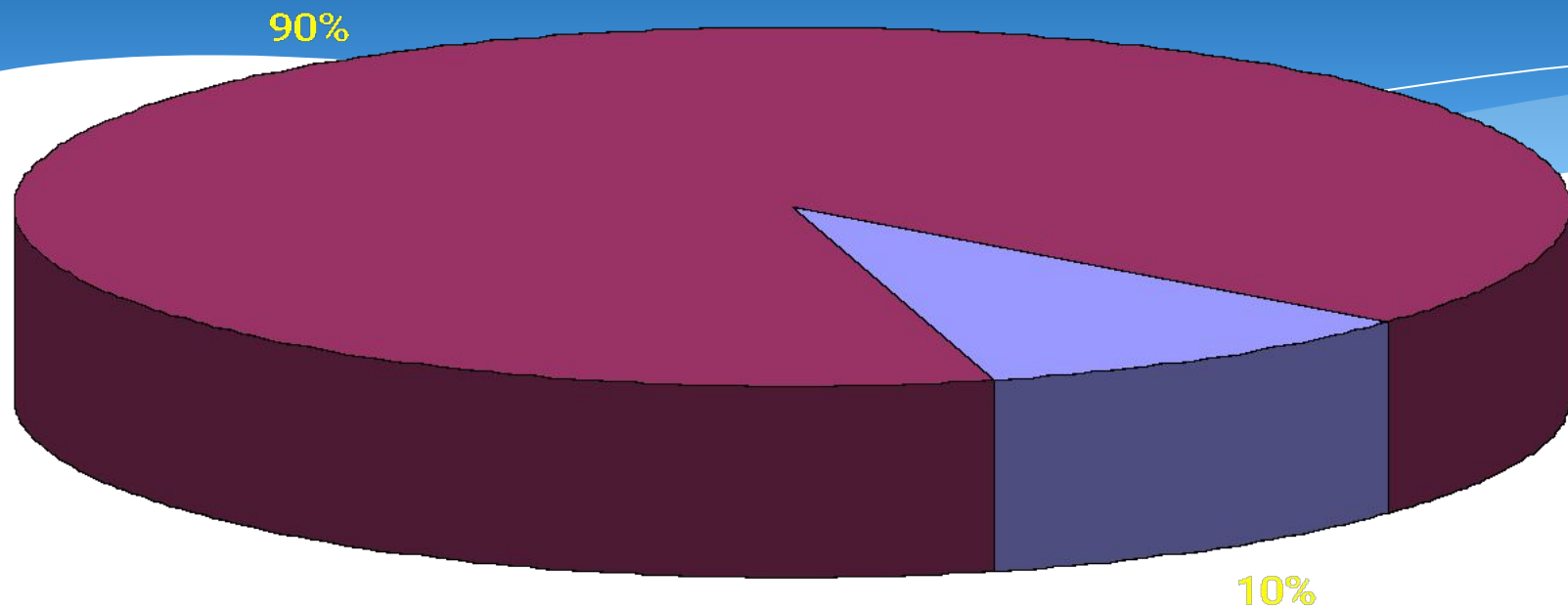


# Современные методики нейровизуализации: эксплуатационный обзор

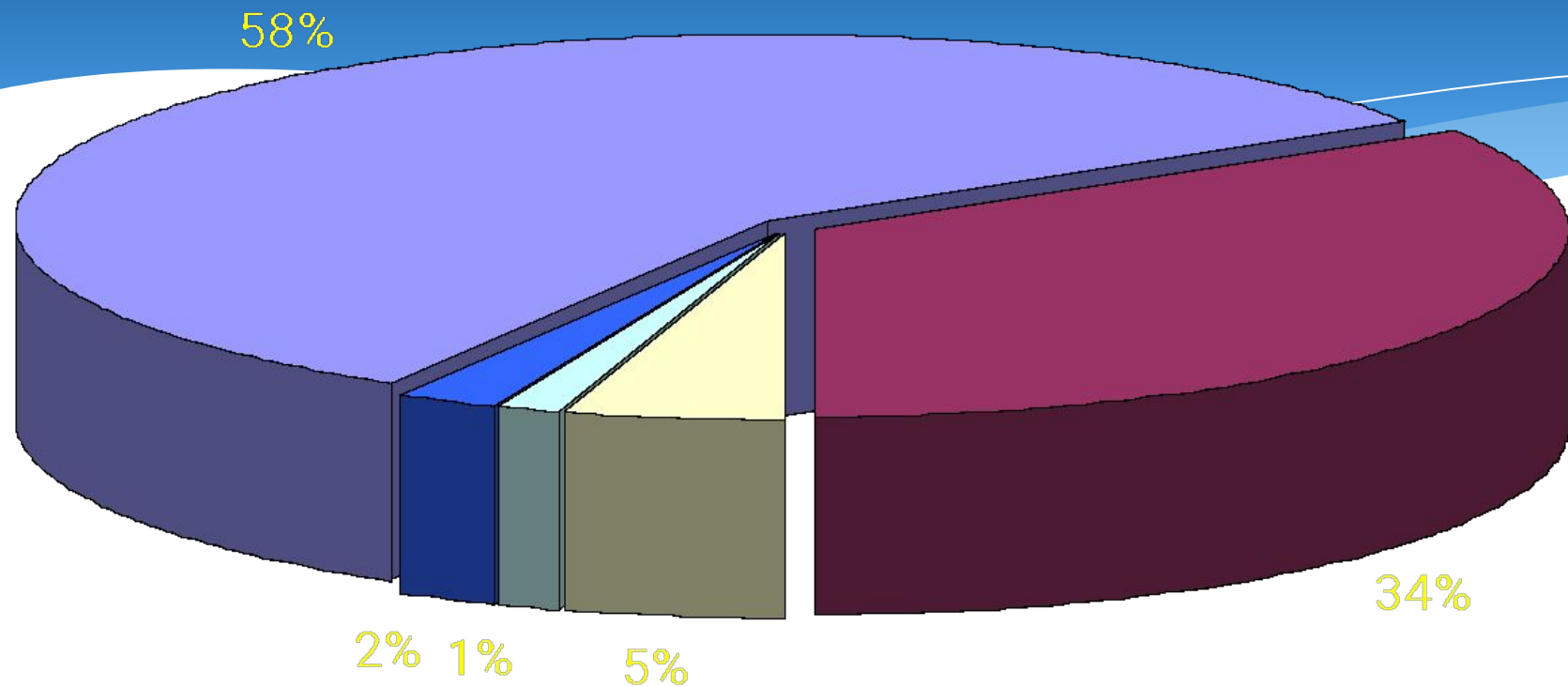
# О ЧЕМ ПОЙДЕТ РЕЧЬ?



# КТ



- 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.

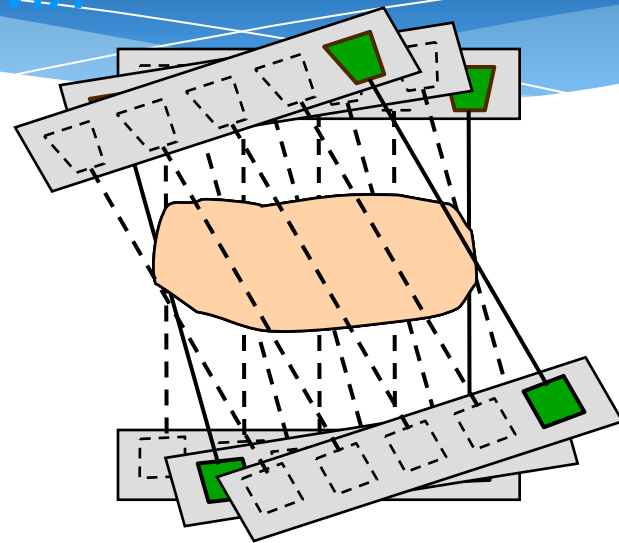
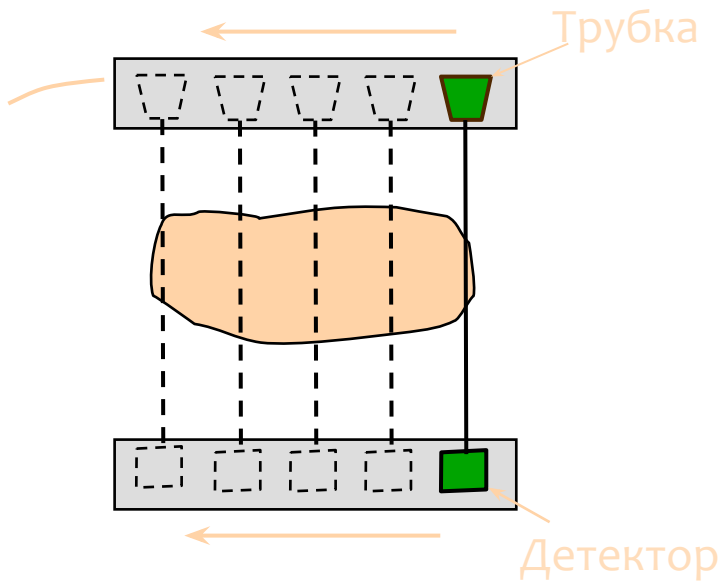
$$q(l, \theta) = \int_{L(l, \theta)} c(x, y) ds$$

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 кольце 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

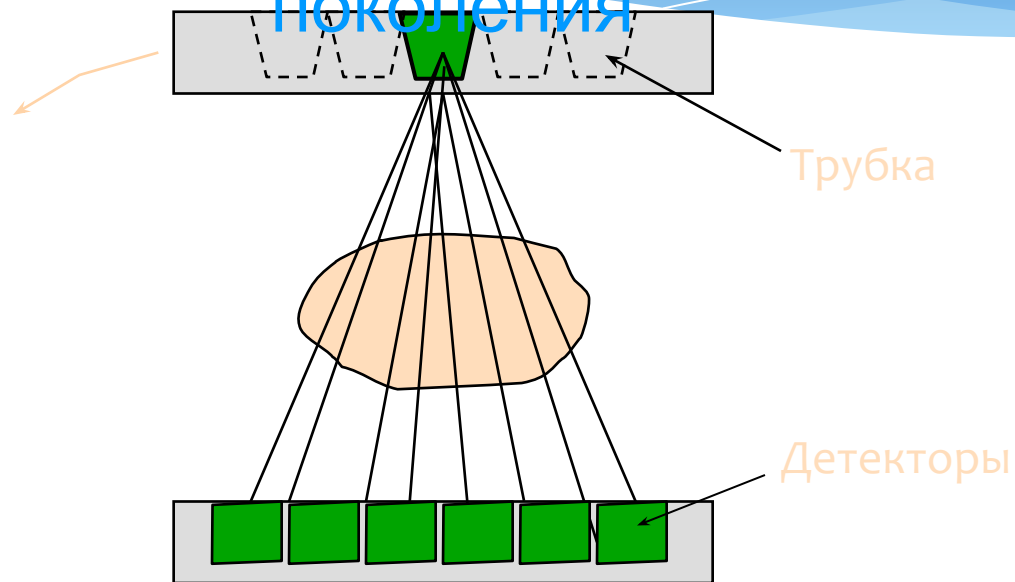


1973 г.

Общее время измерений (поворот на 180°)- 4,5 мин

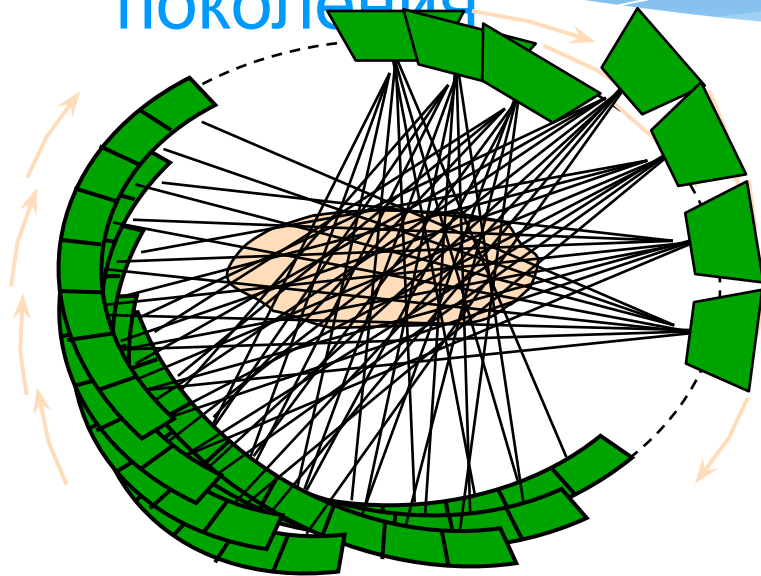


# Сканер 2-го поколения



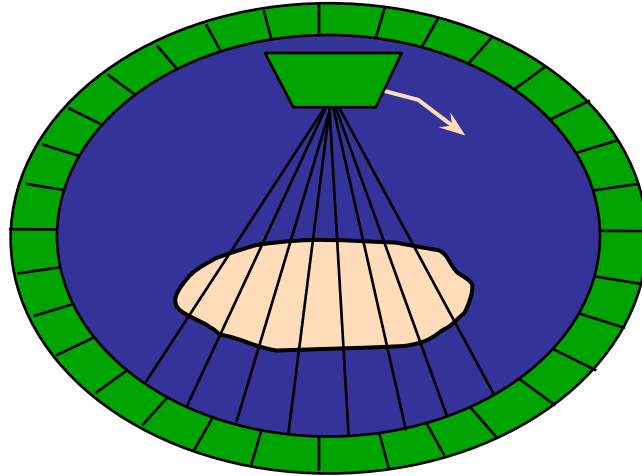
Общее время измерений - 20 с

## 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.

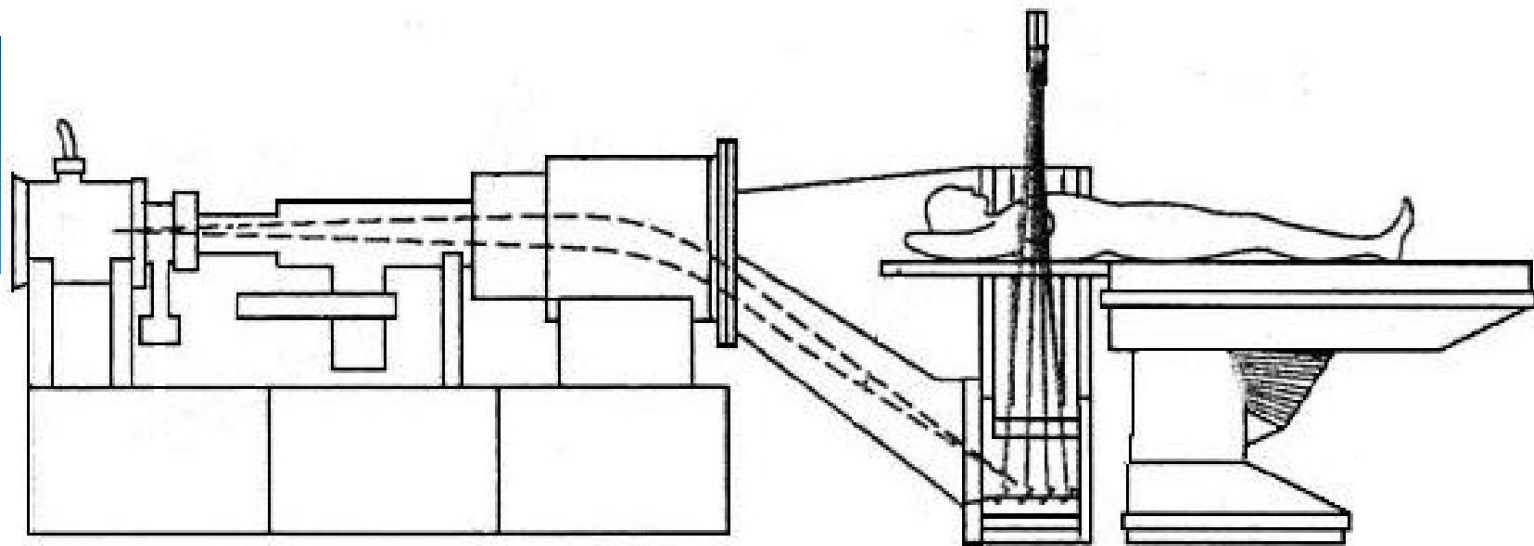
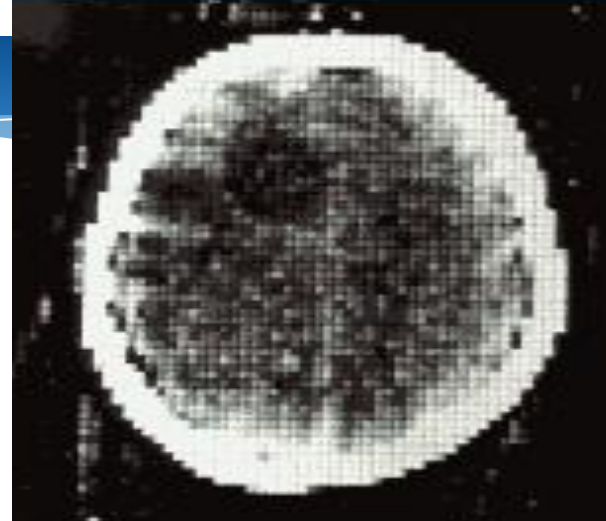


Схема электронно-лучевого томографа:

- 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

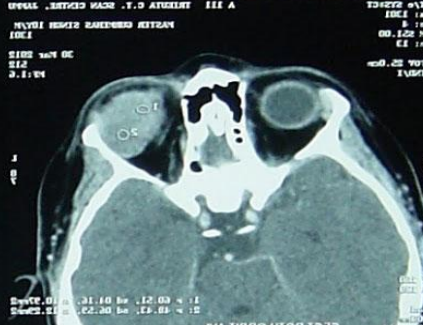
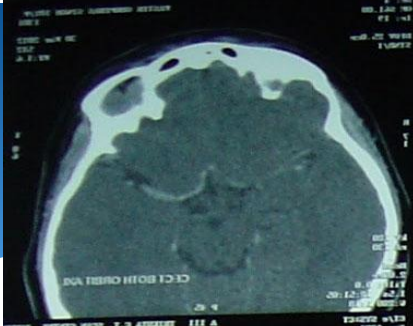
0,5 с/оборот





# 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.





OPART

TOSHIBA

# 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

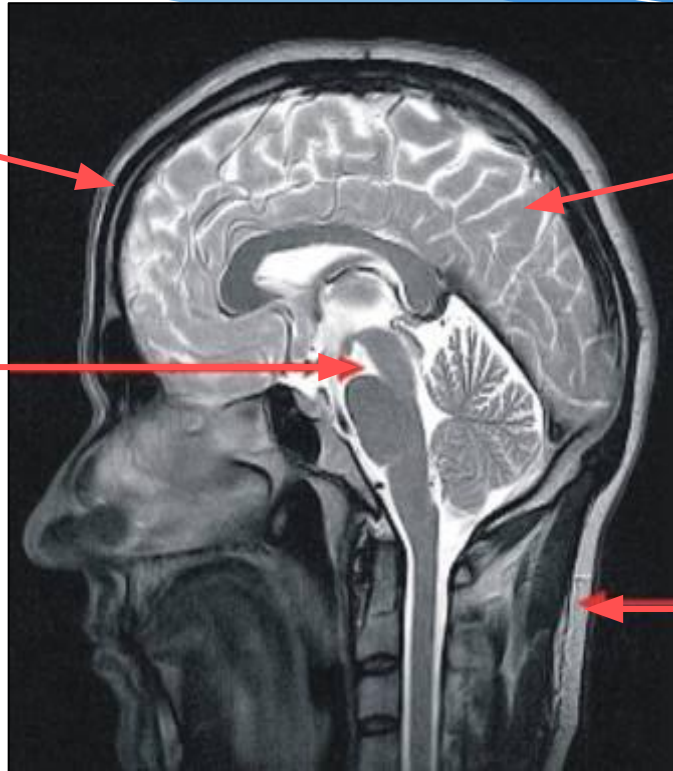
СМЖ  
(темная)

Белое вещество

# T2-взвешенное изображение

Кортикальная кость  
(нет протонов)

СМЖ  
(яркая)

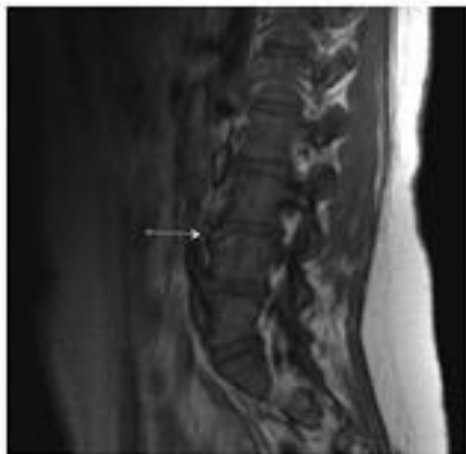


Серое вещество

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



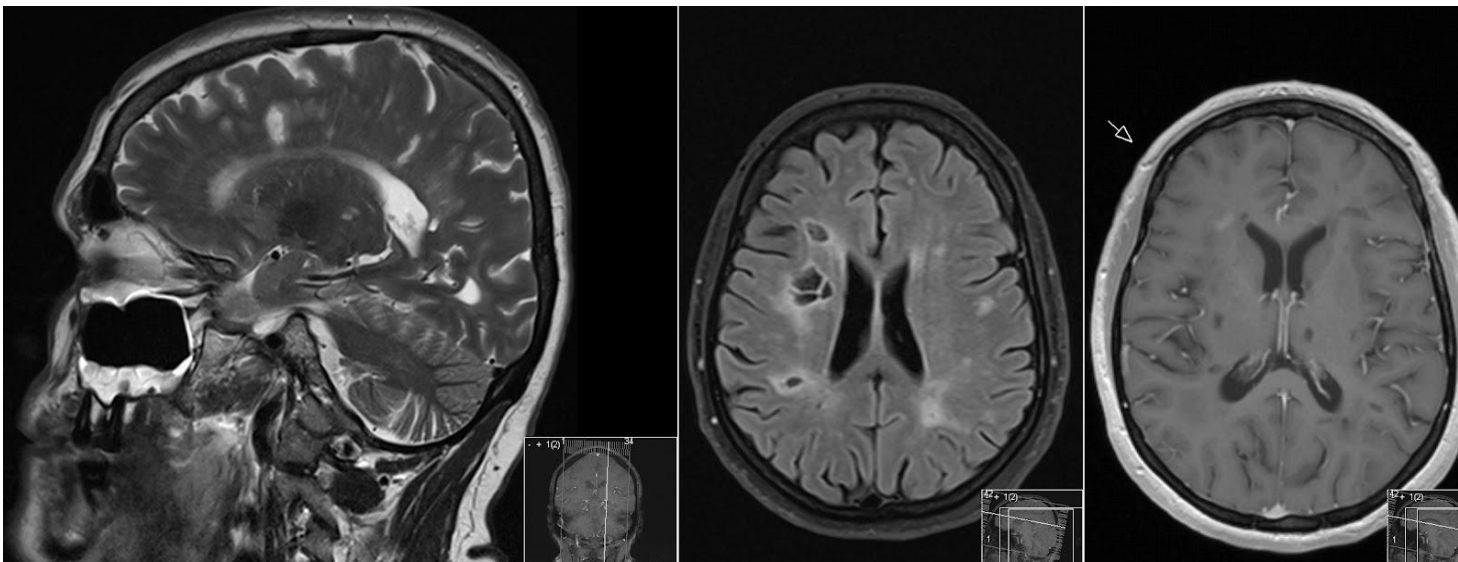
б



в

# FLAIR

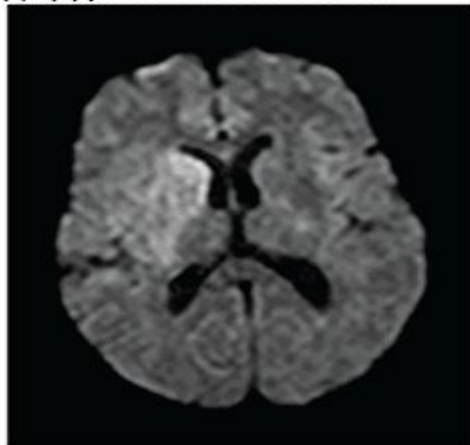
- \* Режим инверсии-восстановления с редукцией сигнала от свободной жидкости. Незаменимый режим для оптимизации изображения белого вещества. Используется в МР диагностике рассеянного склероза, различных лейкопатий и т.д.



# 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

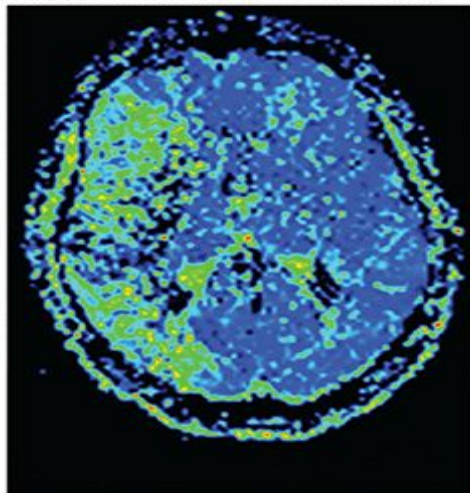


Центральная зона



[www.minclinic.ru](http://www.minclinic.ru) [www.minclinic.ru](http://www.minclinic.ru) [www.minclinic.ru](http://www.minclinic.ru) [www.minclinic.ru](http://www.minclinic.ru)

Перфузионно взвешенное МРТ

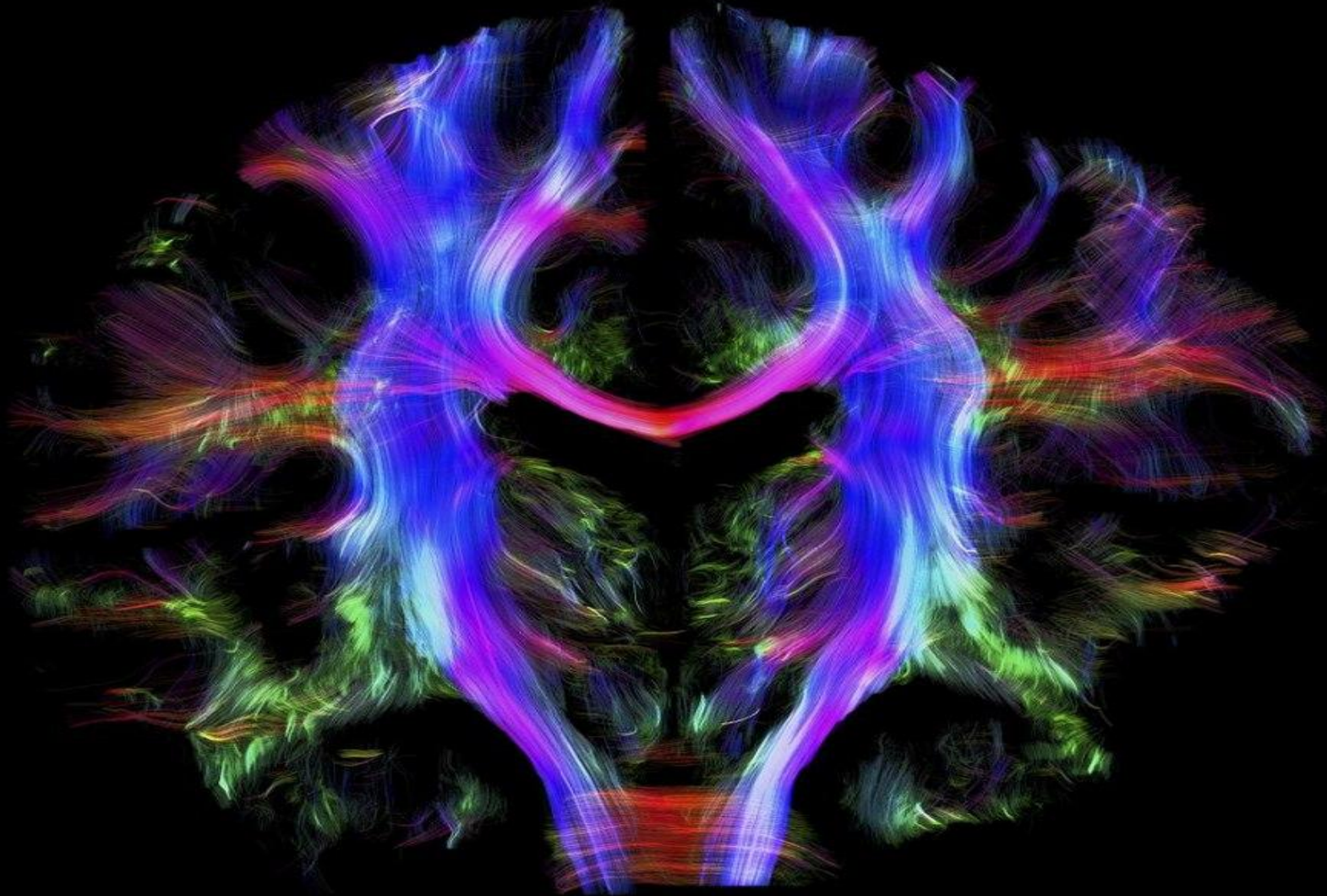


- \* Диффузионно-взвешенное МРТ (DWI) показывает гиперинтенсивность, которая соответствует необратимой ишемии в глубине бассейна правой средней мозговой артерии.
- \* При перфузионно-взвешенной МРТ (PWI) используется контрастное вещество для оценки мозгового кровотока. Цветовая шкала представляет собой 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



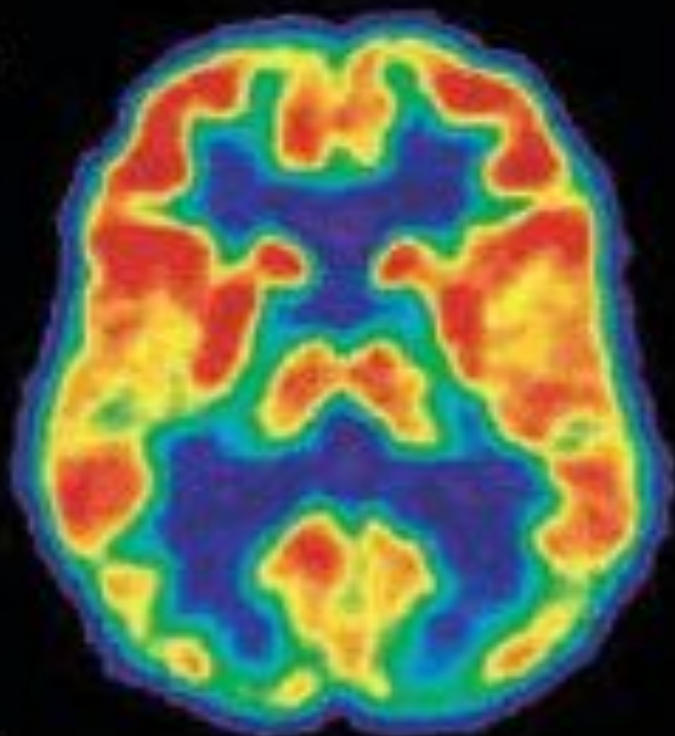
- \* Радионуклидный метод исследования внутренних органов .
- \* Метод основан на регистрации пары гамма-квантов, возникающих при аннигиляции позитронов с электронами.
- \* Позитроны возникают при позитронном бета-распаде радионуклида, входящего в состав радиофармпрепарата , который вводится в организм 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.

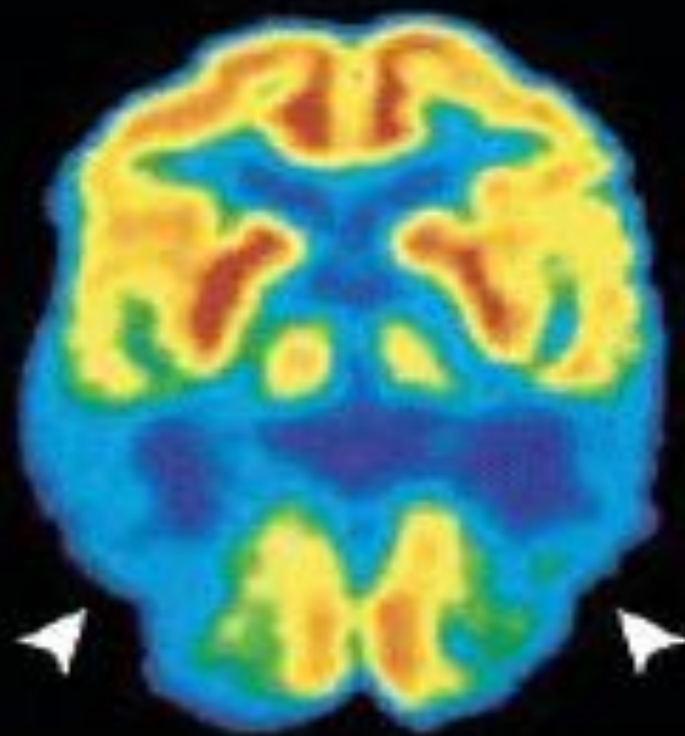
High  
Activity



Low  
Activity



Норма



Болезнь Альцгеймера

Рис. 8. ПЭТ в норме и при болезни Альцгеймера

# Радиофармпрепараты

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

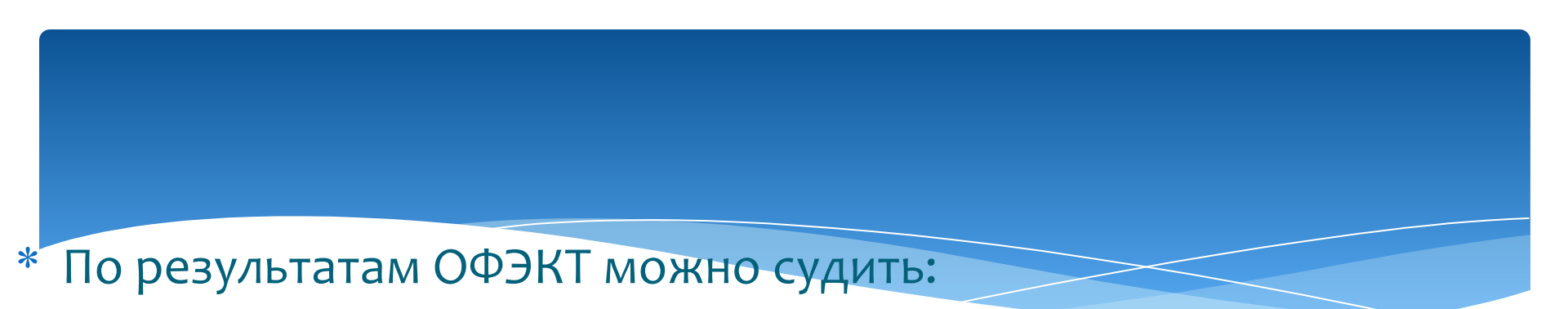


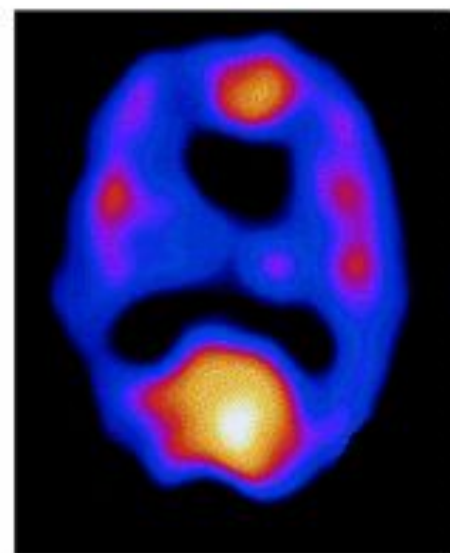
ОФЭКТ



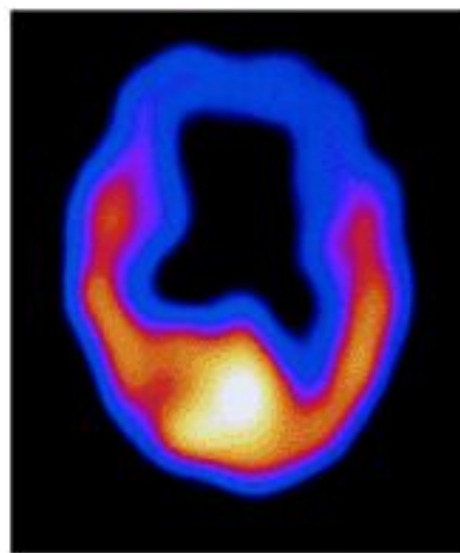
# Single-photon emission computed tomography, SPECT

- \* 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

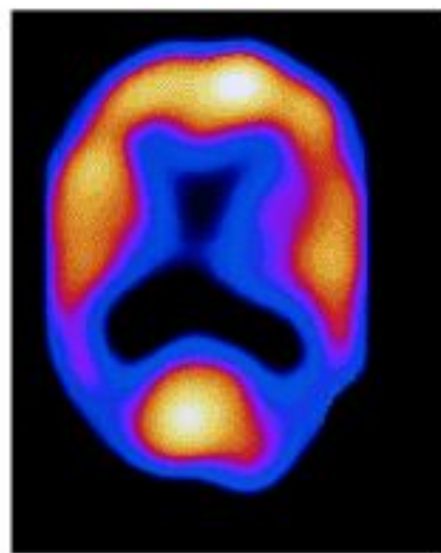
- 
- \* По результатам ОФЭКТ можно судить:
    - об особенностях кровоснабжения;
    - о насыщении кислородом различных тканей;
    - о характере обменных процессов.
  - \* Это дает возможность специалистам определить наличие проблемных зон тогда, когда:
    - опухолевые клетки уже появились, но опухоль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



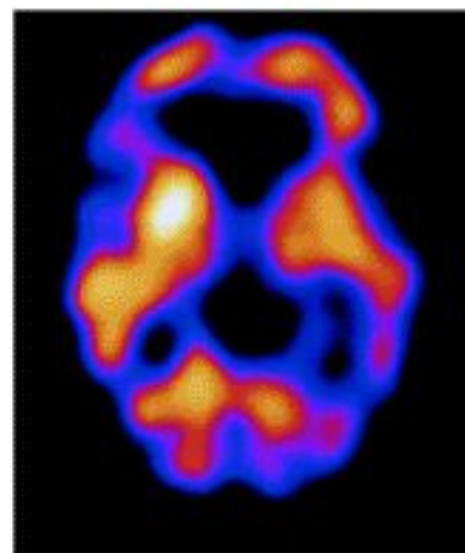
А



Б



В



Г

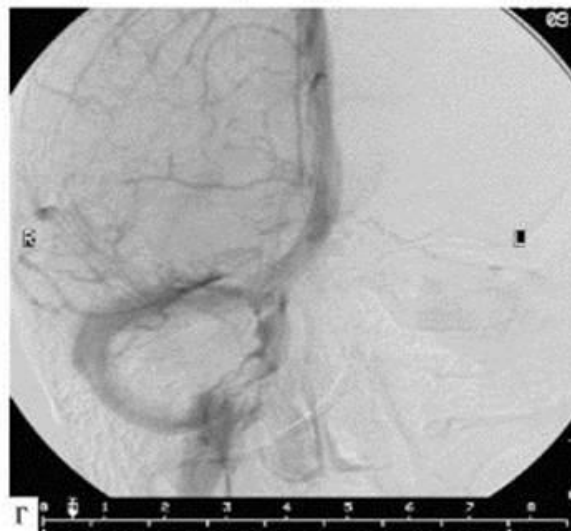
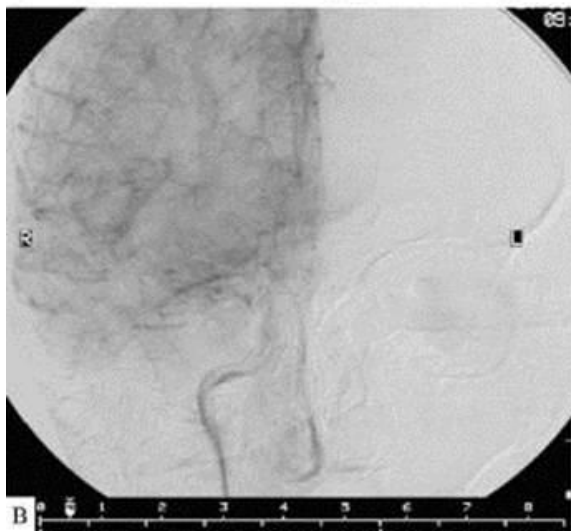
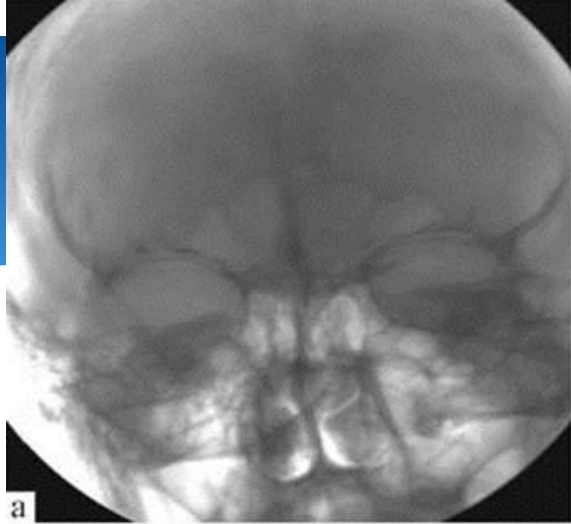
Варианты изменения церебральной перфузии (по данным ОФЭКТ с  $^{99m}\text{Tc}$ -ГМАПО) у больных с различными нозологическими формами паркинсонизма: А — диффузное снижение церебральной перфузии у больного БПД; Б — избирательное снижение перфузии лобных отделов у больного с прогрессирующим надъядерным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

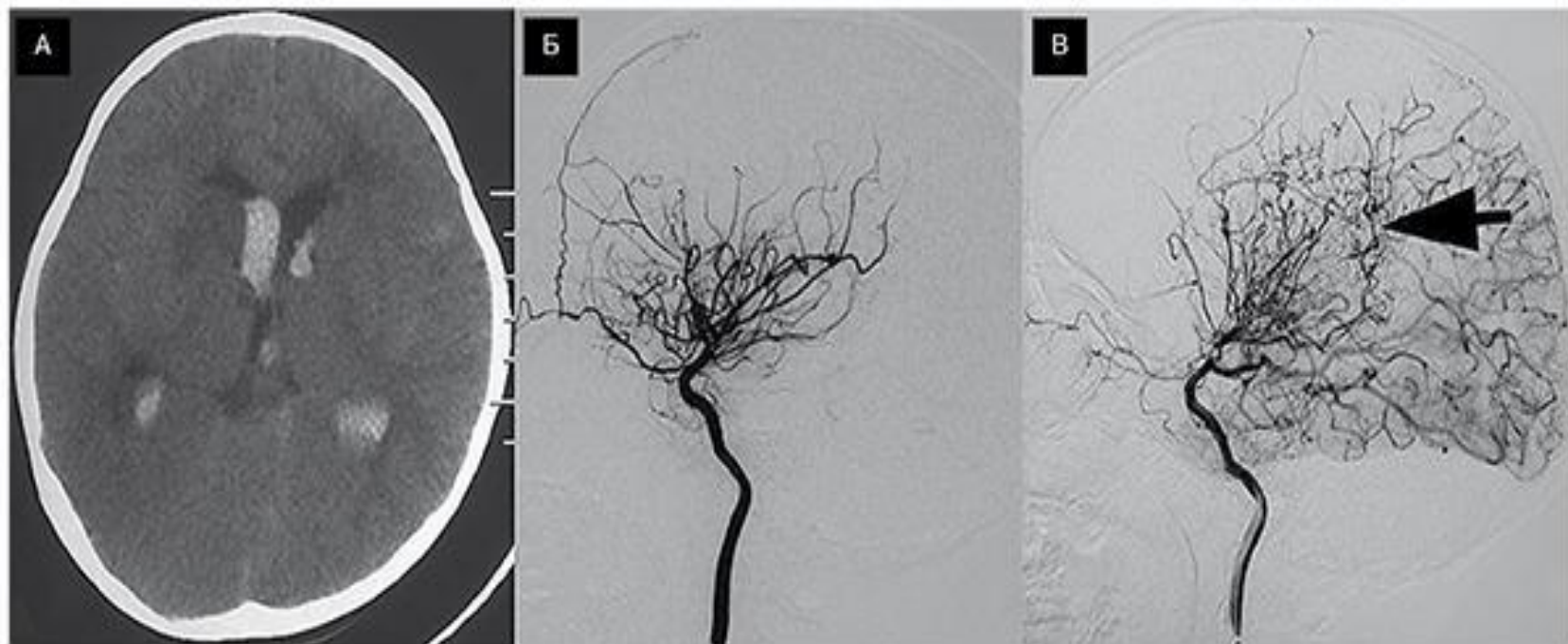


ЦСА

# 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!**

