

**Министерство здравоохранения Республики Беларусь  
ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии  
им. Н.Н. Александрова»**

# **Диффузионно-взвешенная МРТ в онкологии**

**к.м.н., доцент Хоружик С.А., д.м.н., профессор  
Жаврид Э.А., к.м.н Карман А.В.**

**Минск, 21.03.2013 г.**

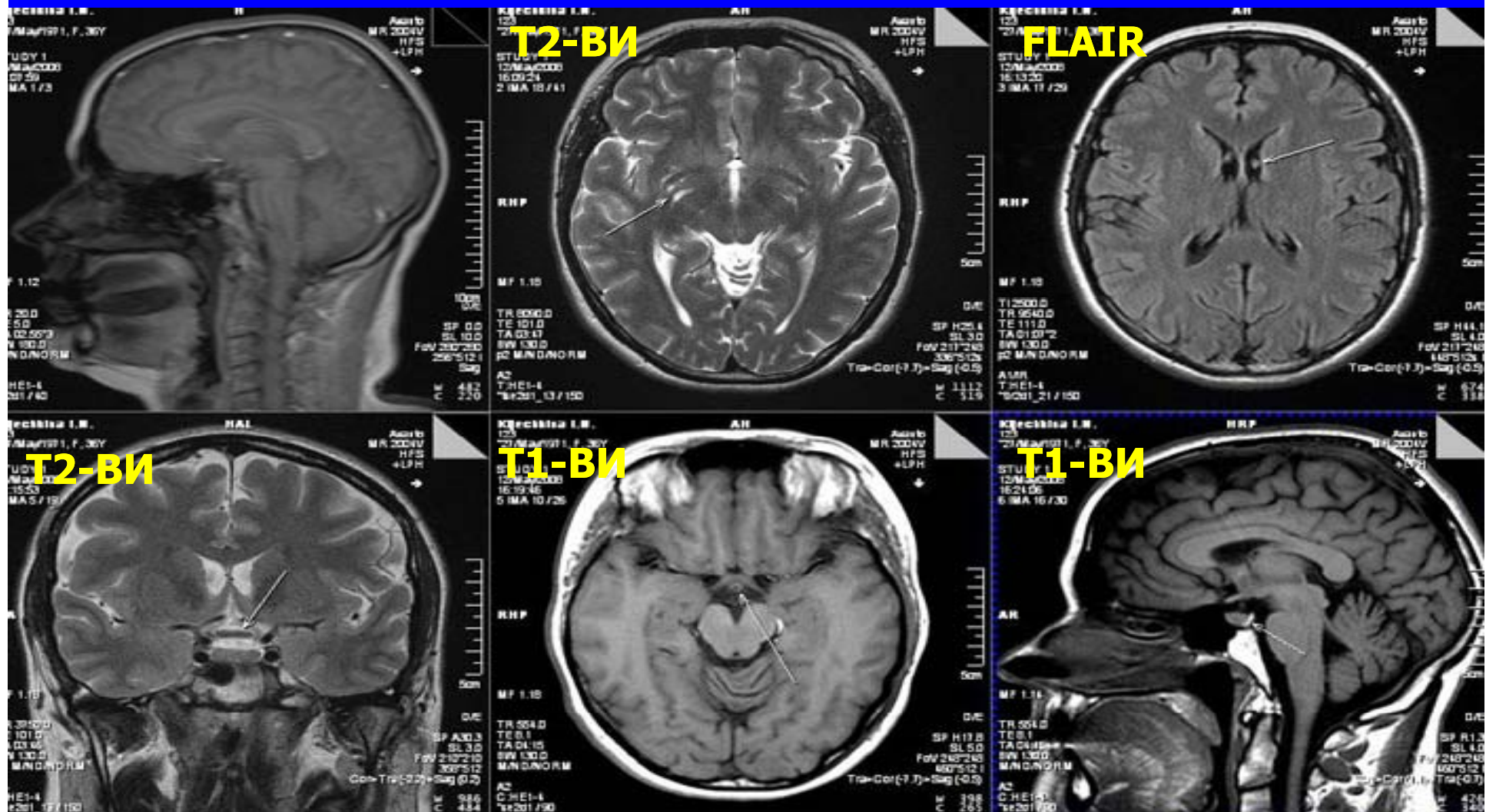
# *Содержание*

- Что такое диффузионно-взвешенная МРТ?
- Применение диффузионно-взвешенной МРТ при:
  - опухолях ГМ и шеи
  - опухолях печени
  - опухолях таза у женщин
  - лимфомах

***Что такое  
диффузионно-  
взвешенная МРТ?***

# «Анатомические» МРТ-изображения

Отражают **распределение атомов водорода** и их индивидуальное магнитное окружение в слое





## *Отличие функциональных МРТ-изображений от «анатомических»*

Для их создания используются **уникальные патофизиологические особенности тканей:**

- **МР-спектроскопия** – изменение биохимического состава тканей
- **Перфузионная МРТ** – измененный кровоток (ишемия, ангиогенез)
- **Функциональная МРТ** – активация коры головного мозга
- **Диффузионно-взвешенная МРТ** – диффузия молекул воды в нормальных и патологических тканях

# ***Определение термина «диффузия»***

Это более широкое распространение чего-либо  
(Google)

Пассивное движение молекул или частиц вдоль  
градиента концентрации (Biology-online.org)

# ***Принципы диффузионно-взвешенной МРТ***

➤ Это одна из МР-импульсных (сканирующих) последовательностей.  
Длительность сканирования 2-4 минуты

➤ Обнаруживает хаотическое или направленное (МР-трактография) движение молекул воды (диффузию)

➤ Диффузия более свободна в жидкостях и более ограничена в тканях

➤ В тканях диффузия более свободна в межклеточных пространствах и более ограничена внутри клеток (мембранами и клеточными органеллами)

➤ Чем шире межклеточные пространства, тем свободнее диффузия

**Т. е. диффузионно-взвешенная МРТ способна оценить процессы в организме человека на клеточном уровне**

# ***Терминология***

Диффузионно-взвешенная МРТ = ДВ-МРТ (англ. DW-MRI)

Однако аббревиатура DW-MRI в англоязычной литературе практически не встречается

Там используют термин **Diffusion Weighted Imaging (DWI)**

Imaging – визуализация, или процесс получения изображений

Поэтому уместной представляется замена слова «Imaging» на русское «исследование»



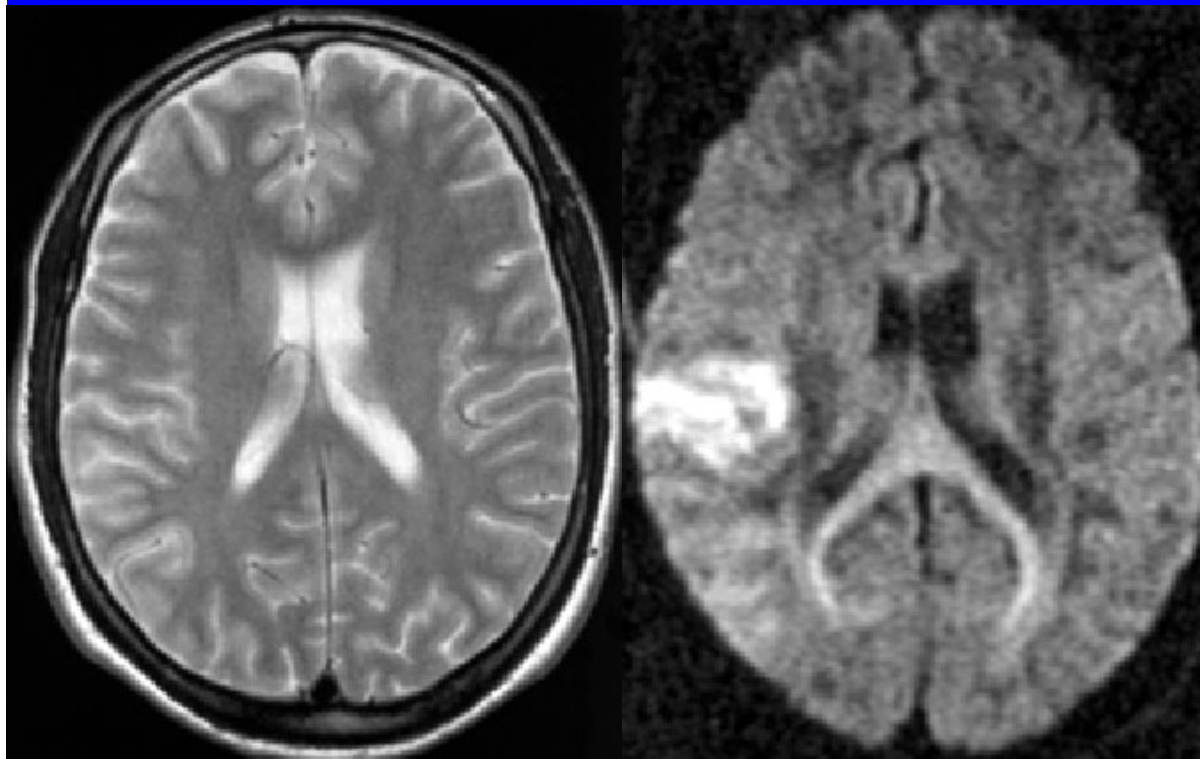
**Диффузионно-взвешенное исследование (ДВИ)**

# ***ДВИ при ишемическом инсульте***

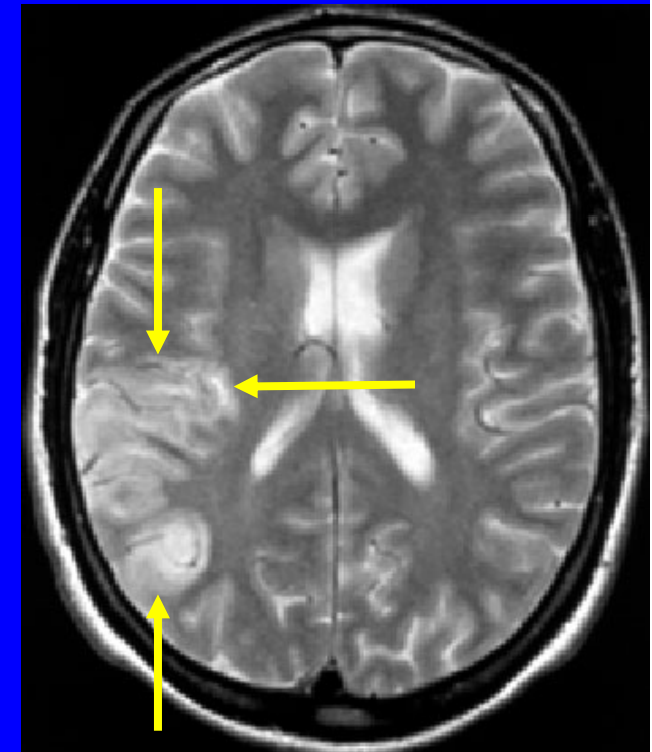
Впервые ДВИ было использовано в 1990г. для ранней диагностики ишемического инсульта (Moseley M.E., 1990)

Выявляет ишемию (цитотоксический отек) в течение нескольких минут после развития неврологической симптоматики

2 часа после начала клиники

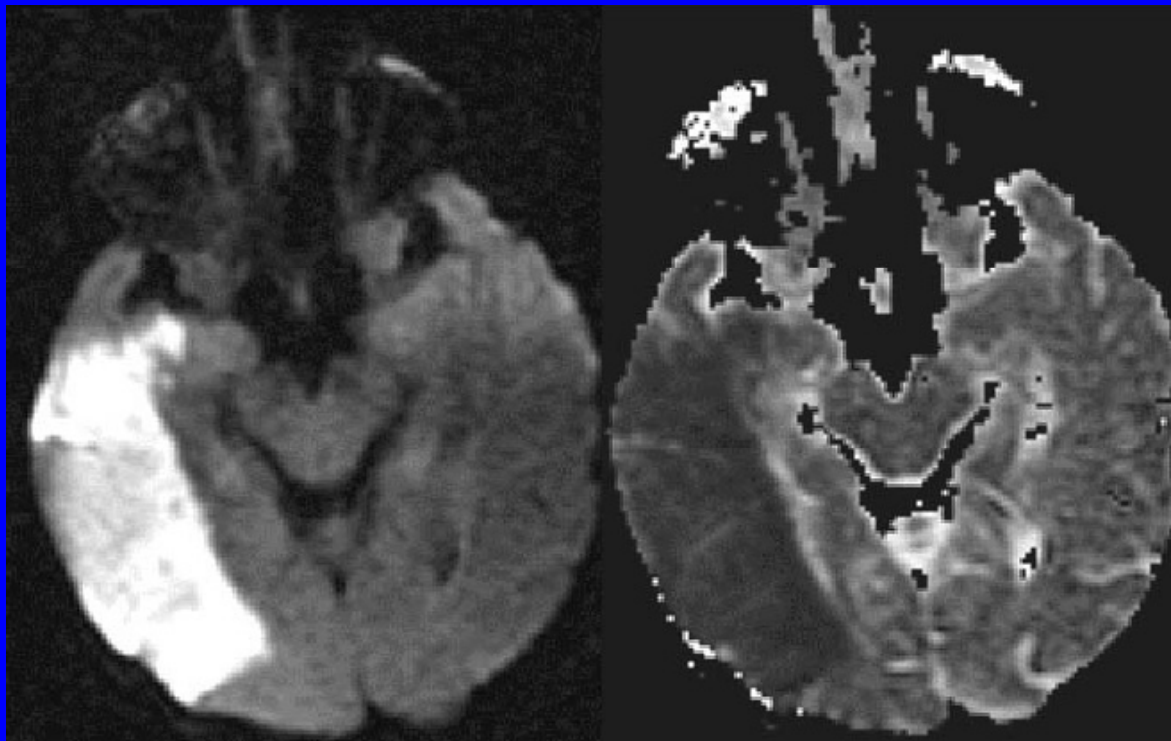


12 часов



# Два этапа анализа ДВИ

1. Качественный – визуальная оценка интенсивности сигнала на диффузионных изображениях, полученных при МР-сканировании
2. Количественный – определение измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) на реконструированных картах ИКД



Ишемический  
инсульт, 35 мин. от  
начала клиники

Повышенный сигнал  
на диффузионных  
изображениях

+

Сниженный сигнал  
на карте ИКД

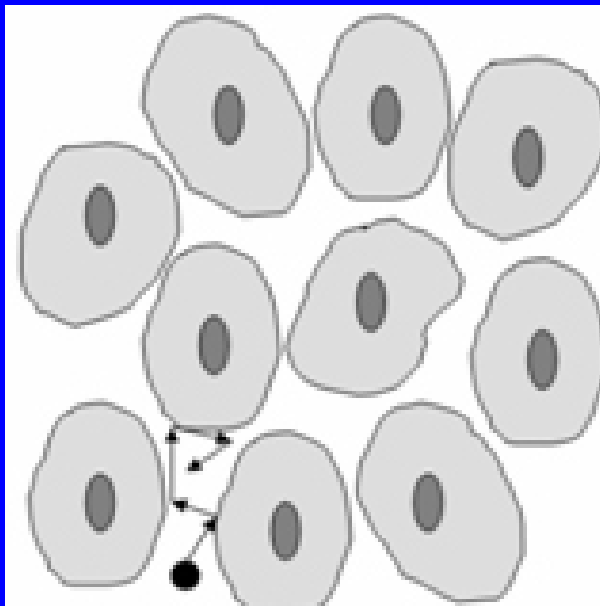
=

Ограничение  
(снижение)  
диффузии

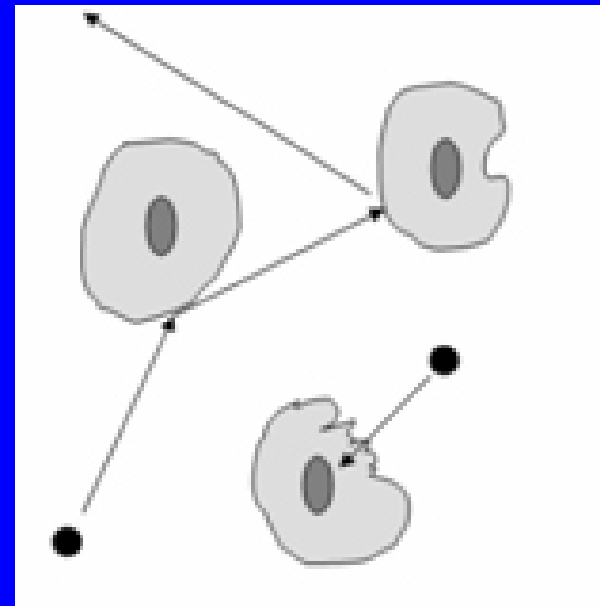
# ***ДВИ при опухолях***

В солидных опухолях количество и плотность расположения клеток выше, чем в нормальных тканях >>> уменьшение внеклеточных пространств >>> снижение диффузии в опухолях

В злокачественных опухолях плотность клеток выше, чем в доброкачественных опухолях >>> диффузия снижена в большей степени



Высокая клеточность —  
диффузия снижена



Низкая клеточность —  
диффузия повышена

# ***ИКД в разных тканях***

Примерные значения ( $\times 10^{-3} \text{мм}^2/\text{сек}$ ):

➤ Чистая вода = 2,96

➤ Солидные доброкачественные опухоли > 1,5

➤ Гиперплазированные лимфоузлы  $\approx 1,3-1,7$

---

➤ Солидные формы рака (первичные и МТС, в т. ч. л/узлы)  $\approx 0,7-1,1$

➤ Гиперцеллюлярные злокачественные опухоли (лимфома)  $\approx 0,6-0,8$

**Значение ИКД < 1-1,1  
МОЖНО СЧИТАТЬ СНИЖЕННЫМ**



## ***Изменение ИКД при противоопухолевом лечении***

При эффективном лечении в опухоли уменьшается количество клеток (некроз, апоптоз) >>>  
расширяются межклеточные пространства >>>  
диффузия (ИКД) повышается

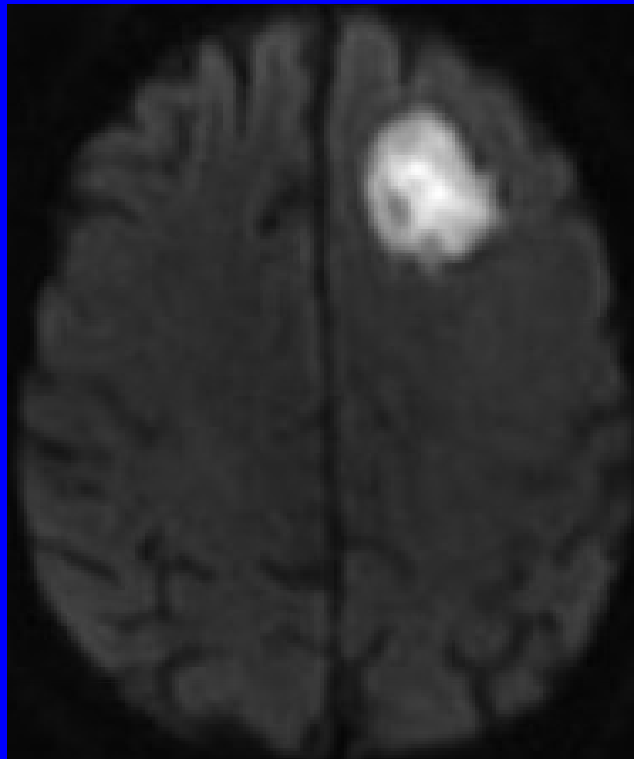
Т. е. повышение ИКД в опухоли в процессе лечения (ХТ, ЛТ и др.) говорит об его эффективности

***ДВИ и трактография  
при опухолях ГМ и шеи***

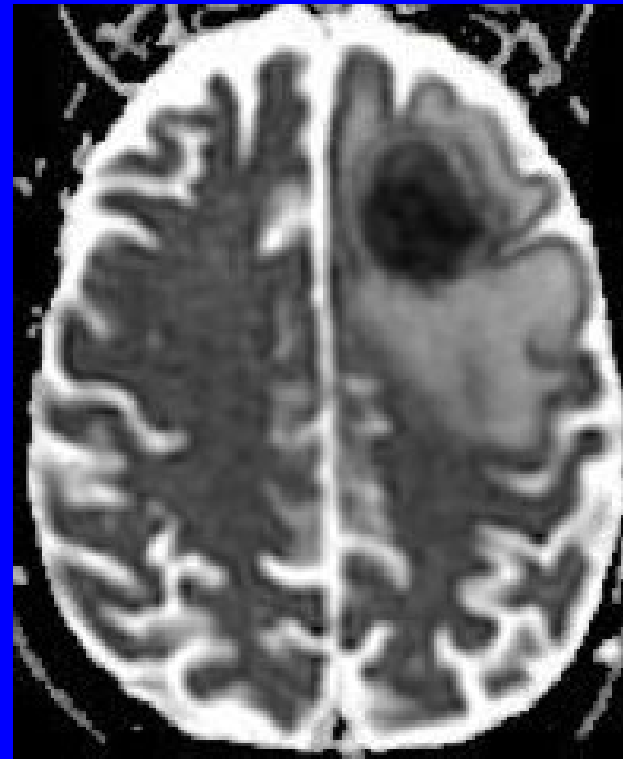
# *ДВИ при абсцессе и некротической опухоли*

Абсцесс имеет вязкое содержимое, ввиду чего диффузия в нем снижена

Диффузионное изображение:  
сигнал повышен



Карта ИКД:  
сигнал снижен

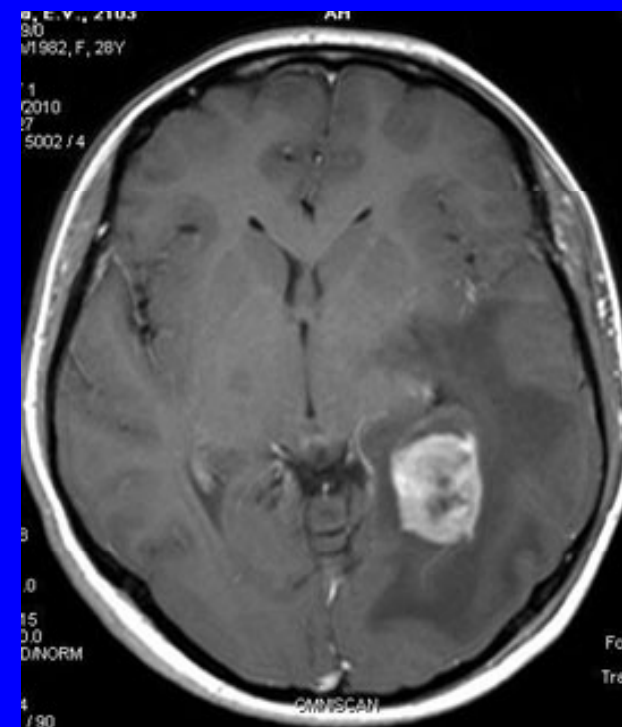
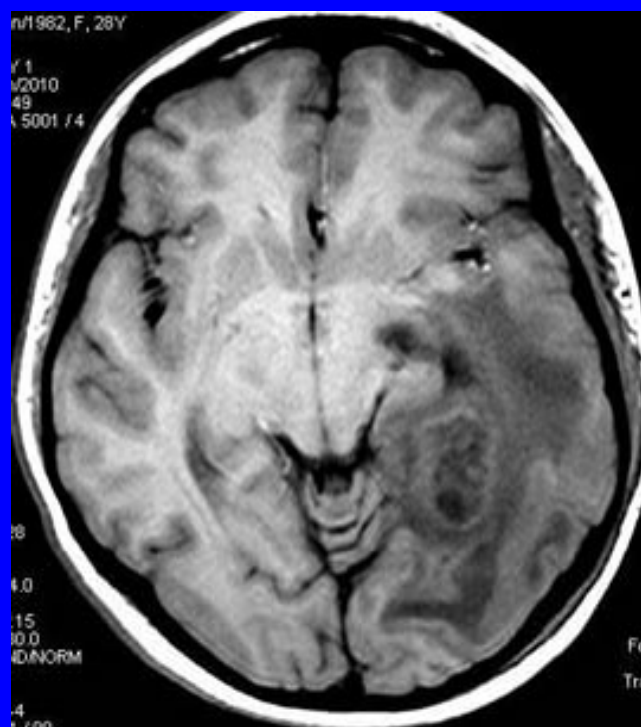
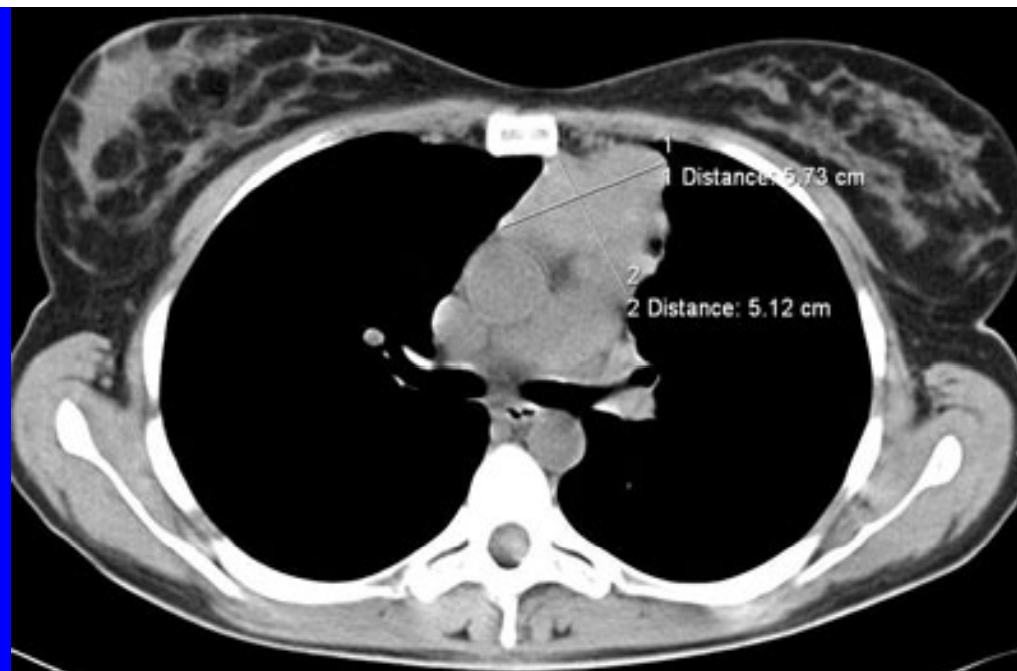


Яркий сигнал на диффузионных изображениях + темный сигнал  
на картах ИКД = **снижение диффузии**

Пациентка К., 28 лет

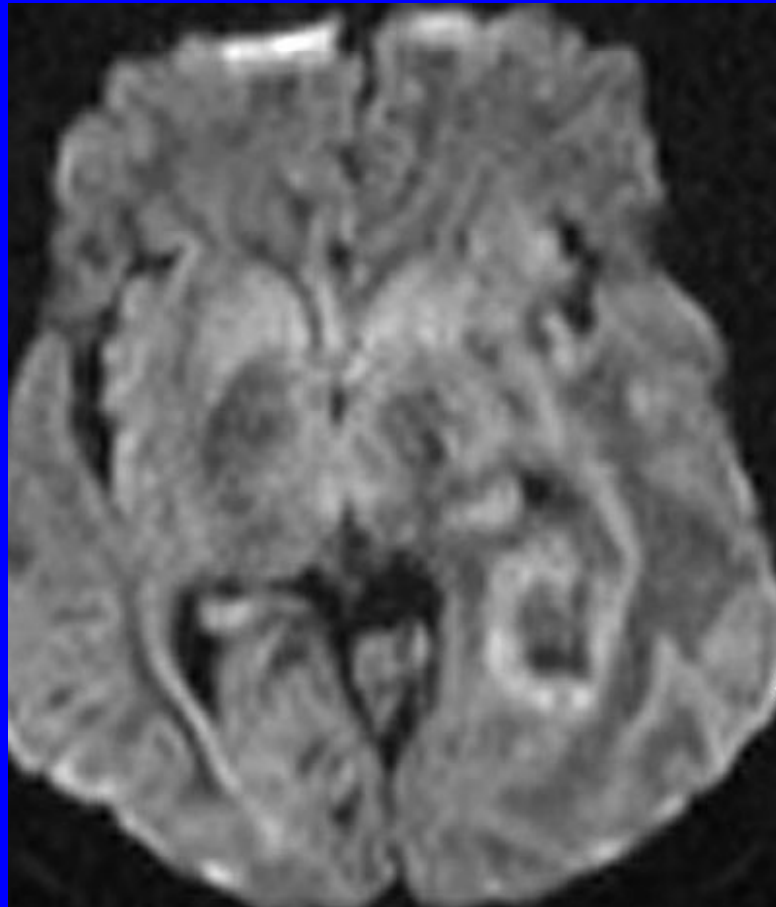
Лечится по поводу **лимфомы средостения + средний отит слева** (получает антибиотики)

Кольцевидный очаг в левой височной доле:  
абсцесс? опухоль?

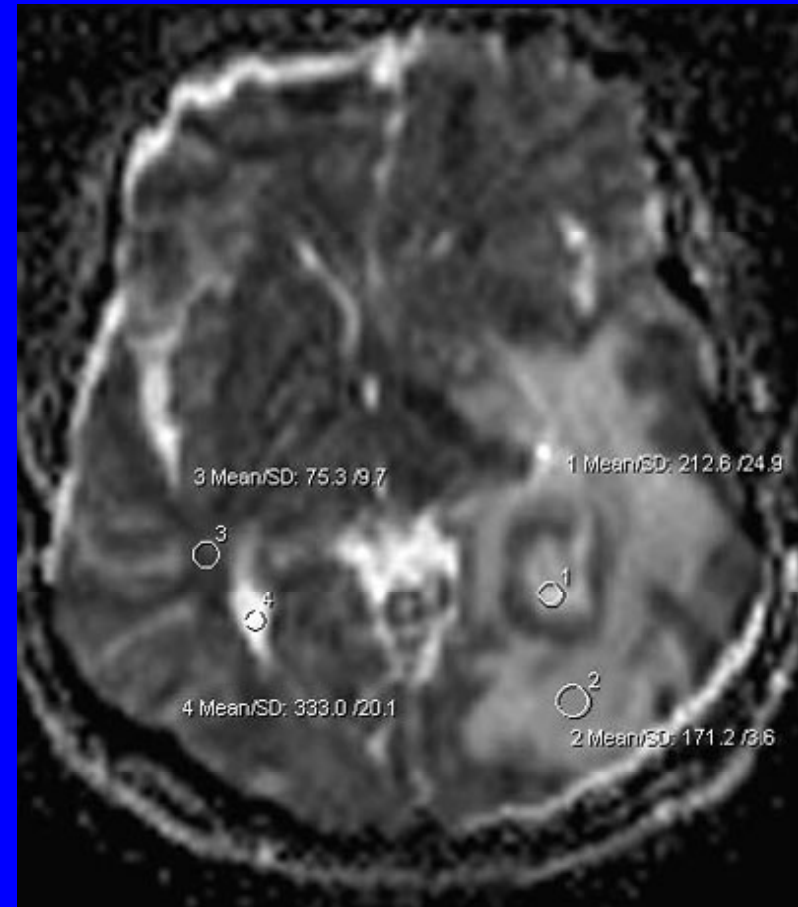


Та же пациентка. **Лимфома левой затылочной доли**

**Диффузионное изображение:**  
сигнал в центре снижен

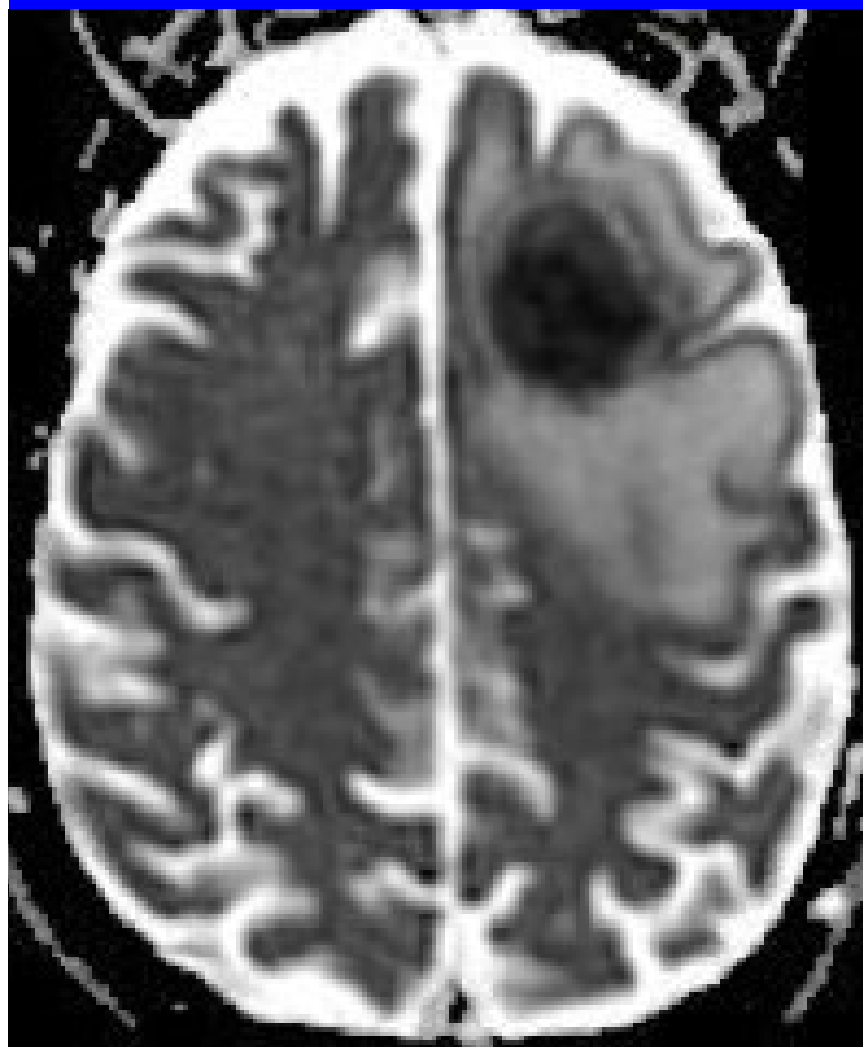


**Карта ИКД:** сигнал в центре повышен

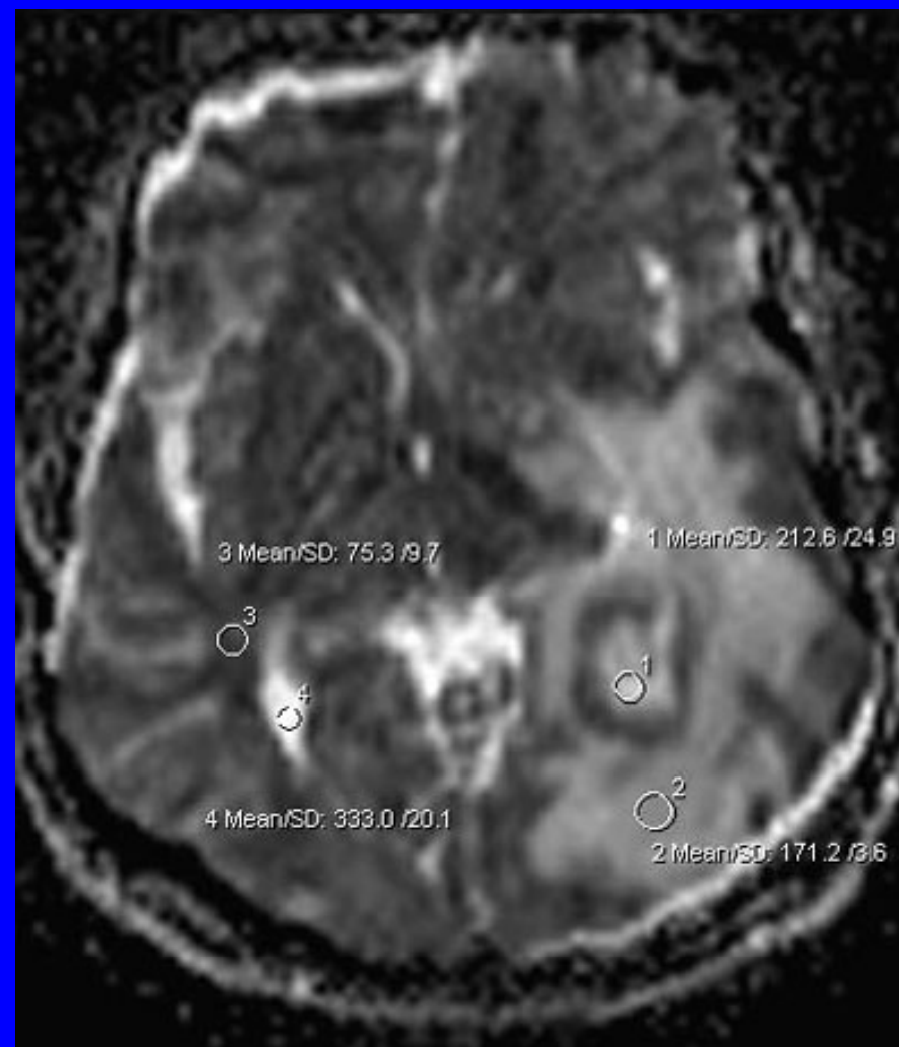


**Диффузия в центре очага повышена, что характерно для некротической опухоли, а не абсцесса**

Темный центр на карте ИКД  
(диффузия снижена) –  
абсцесс



Яркий центр на карте ИКД  
(диффузия повышена) –  
некротическая опухоль

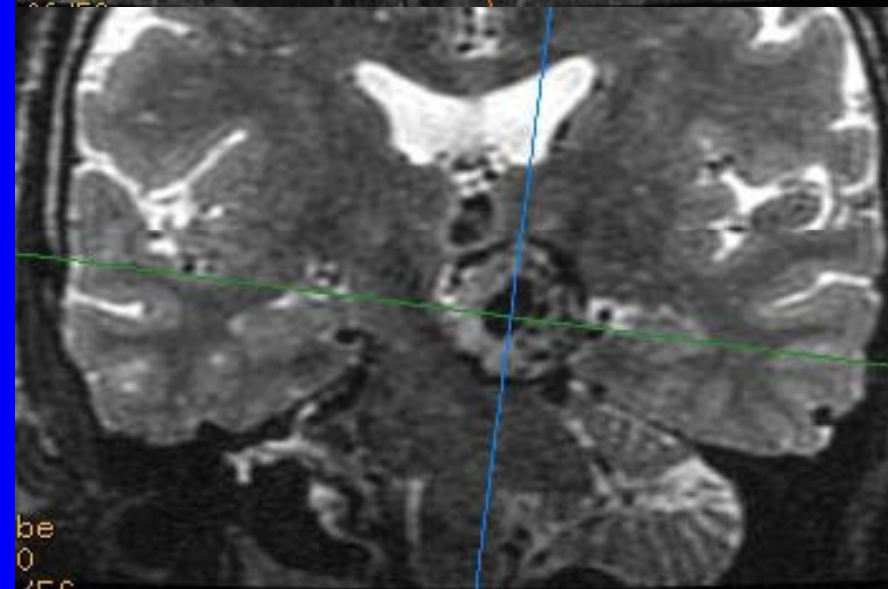
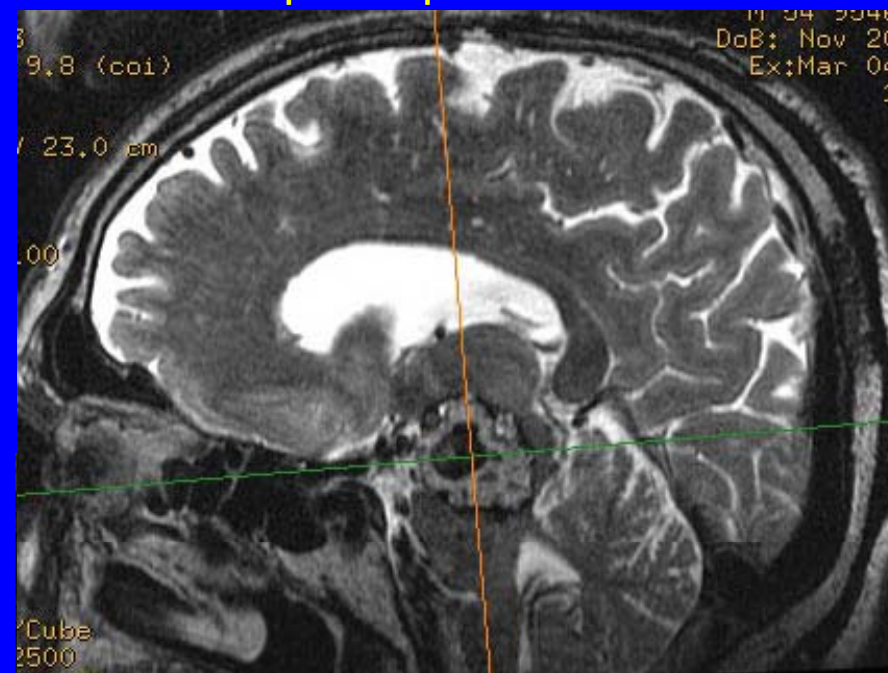
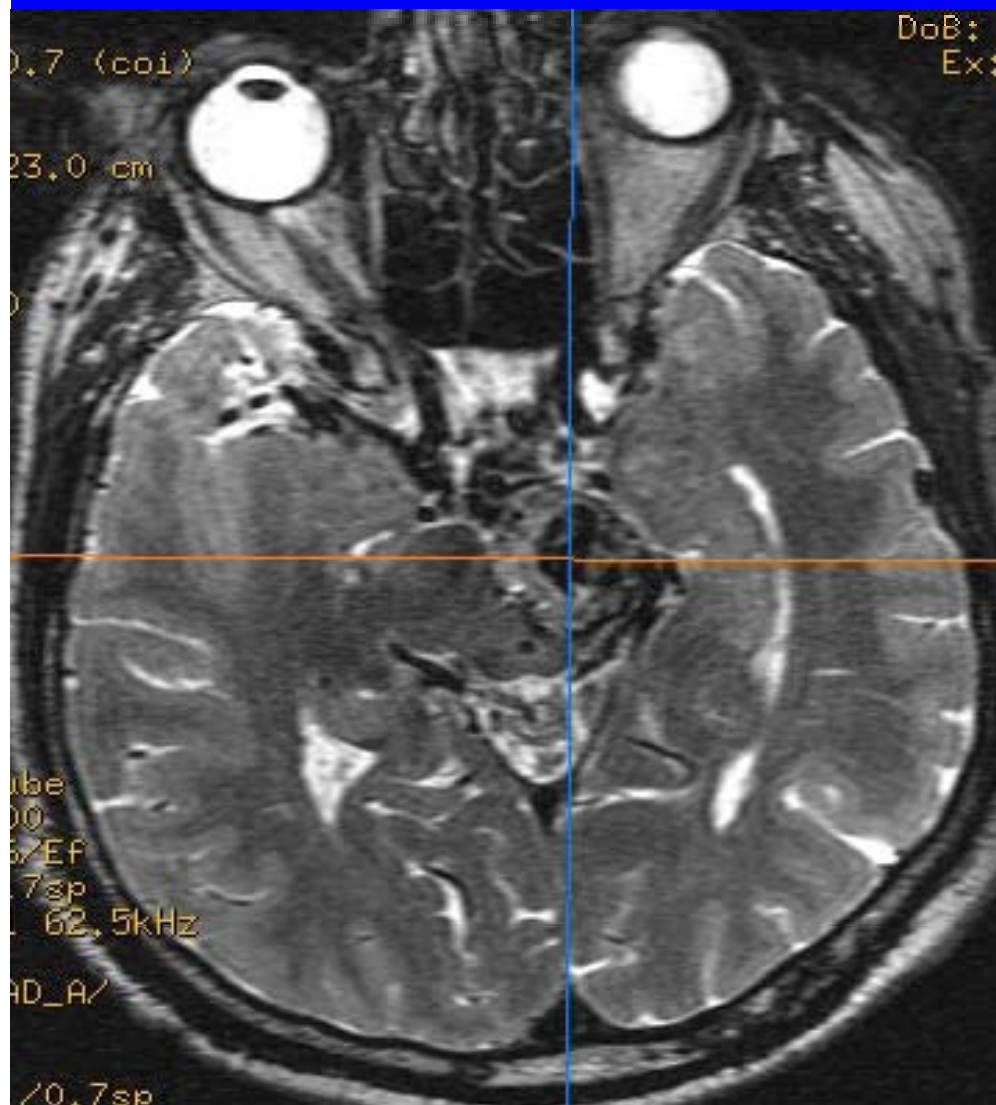




# Трактография при опухоли ножки мозга

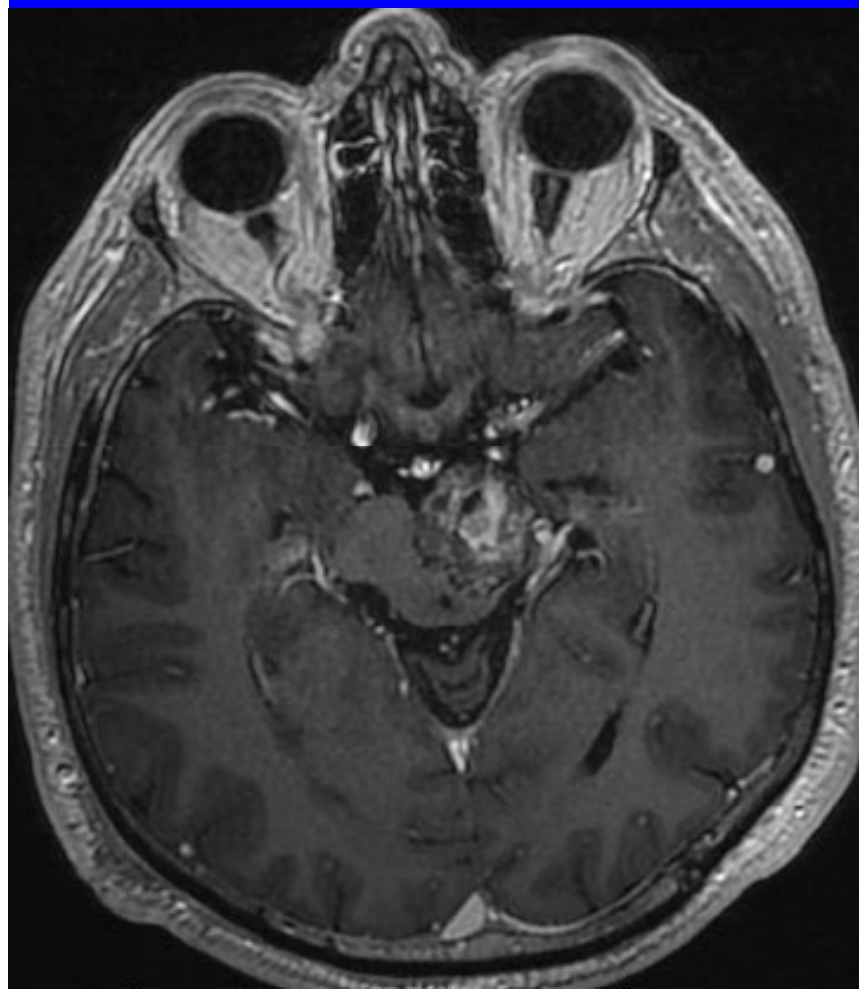
Пациент Ш., 54 года. Облучен в 1998 г. в дозе 80 Гр по поводу не верифицированной опухоли левой ножки мозга (предположительно ангиома). Клинически парез в правых конечностях

## Трехмерная (3D) серия T2 CUBE

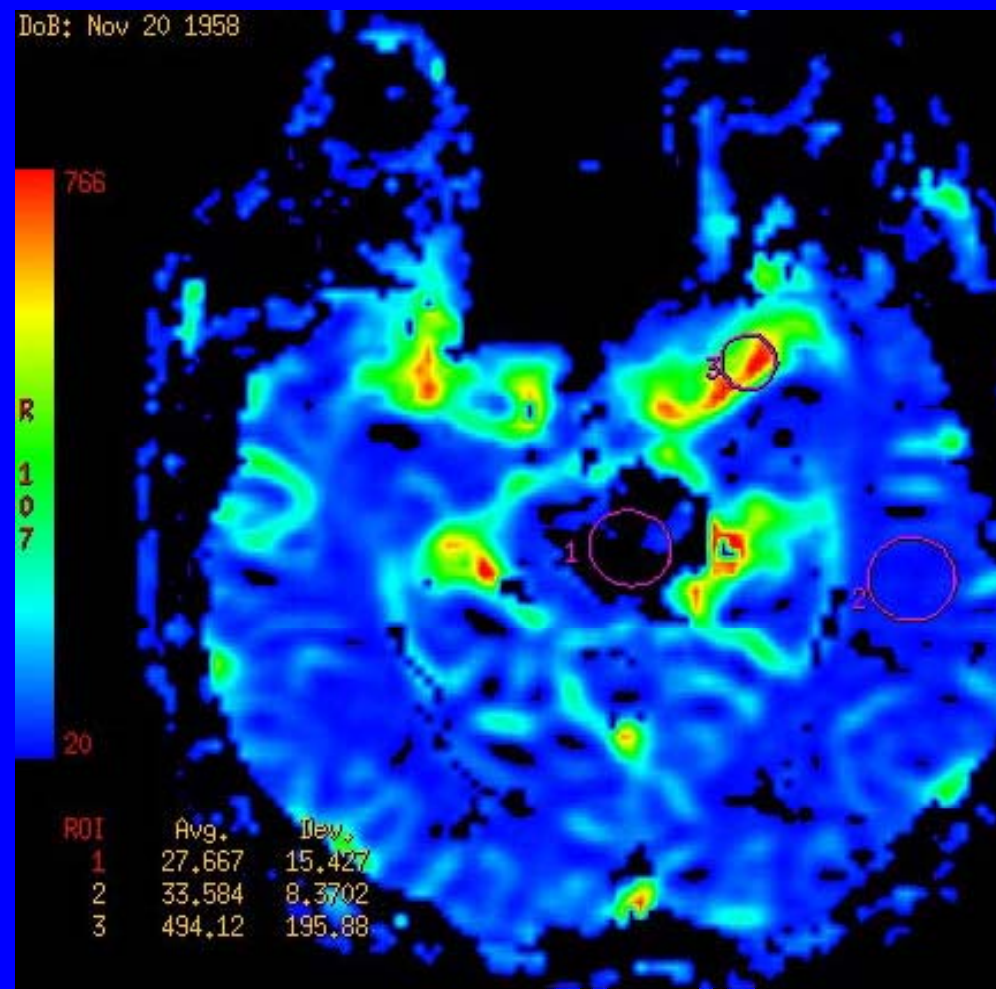


Тот же пациент. **В/в контрастирование омнисканом**

T1-ВИ с в/в усилением –  
имеется накопление



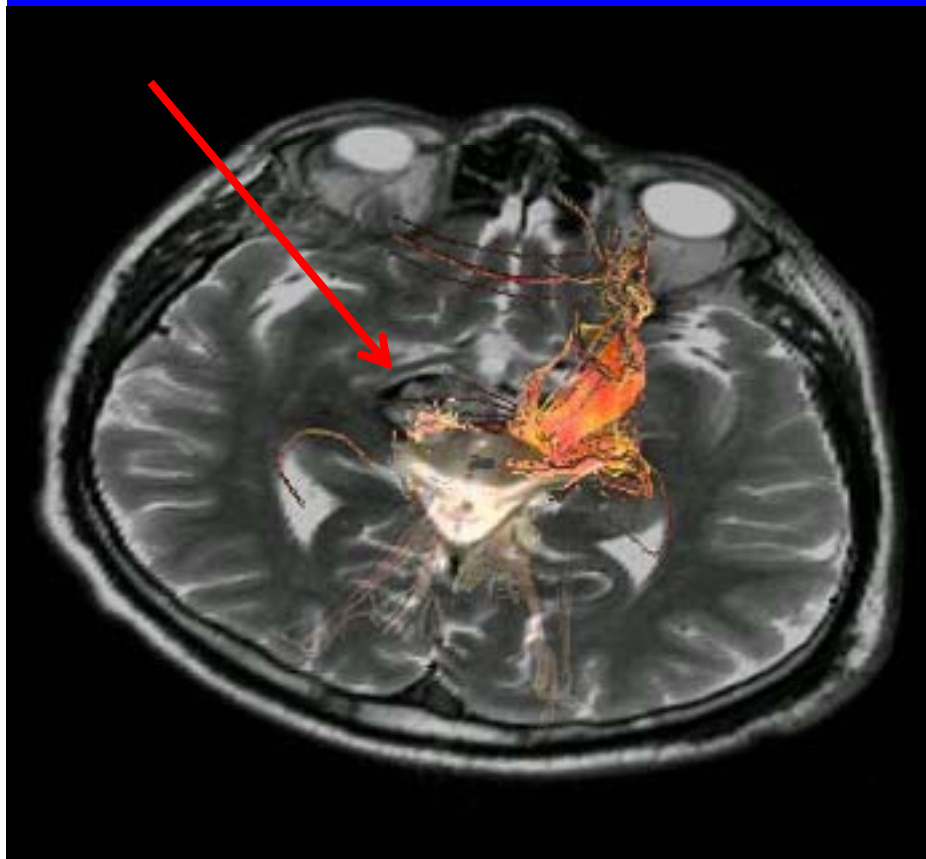
Цветная карта объема мозгового  
кровотока (rCBV)



Перфузия в образовании снижена –  
посттерапевтический очаг



Тот же пациент. **Трактография**



**Практически полное отсутствие трактов в левой ножке мозга >>>**  
неврологические нарушения

# Трактография при метастазе в ГМ

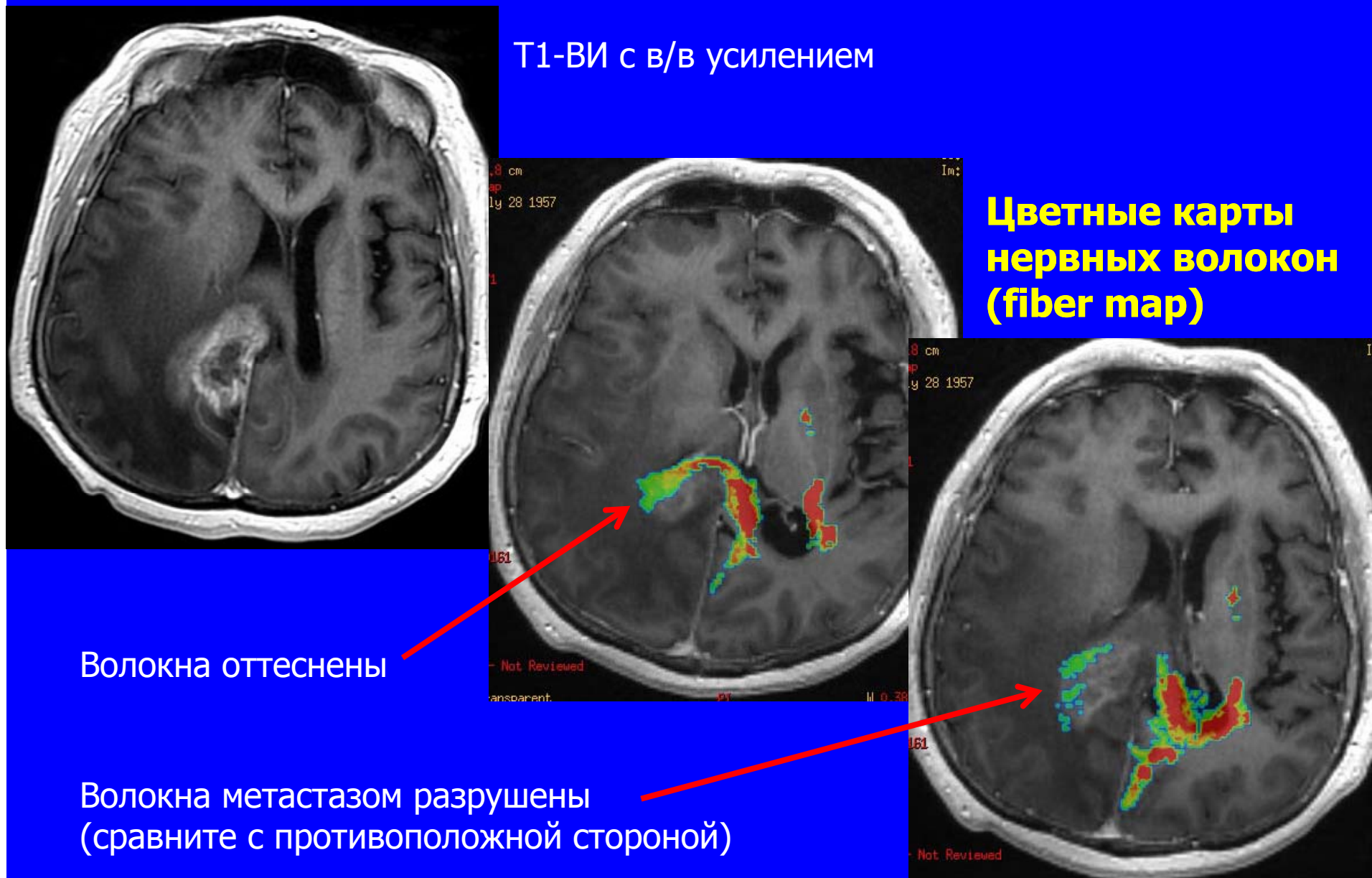
Пациентка А., 56 лет. Метастаз рака молочной железы в ГМ

T1-ВИ с в/в усилением

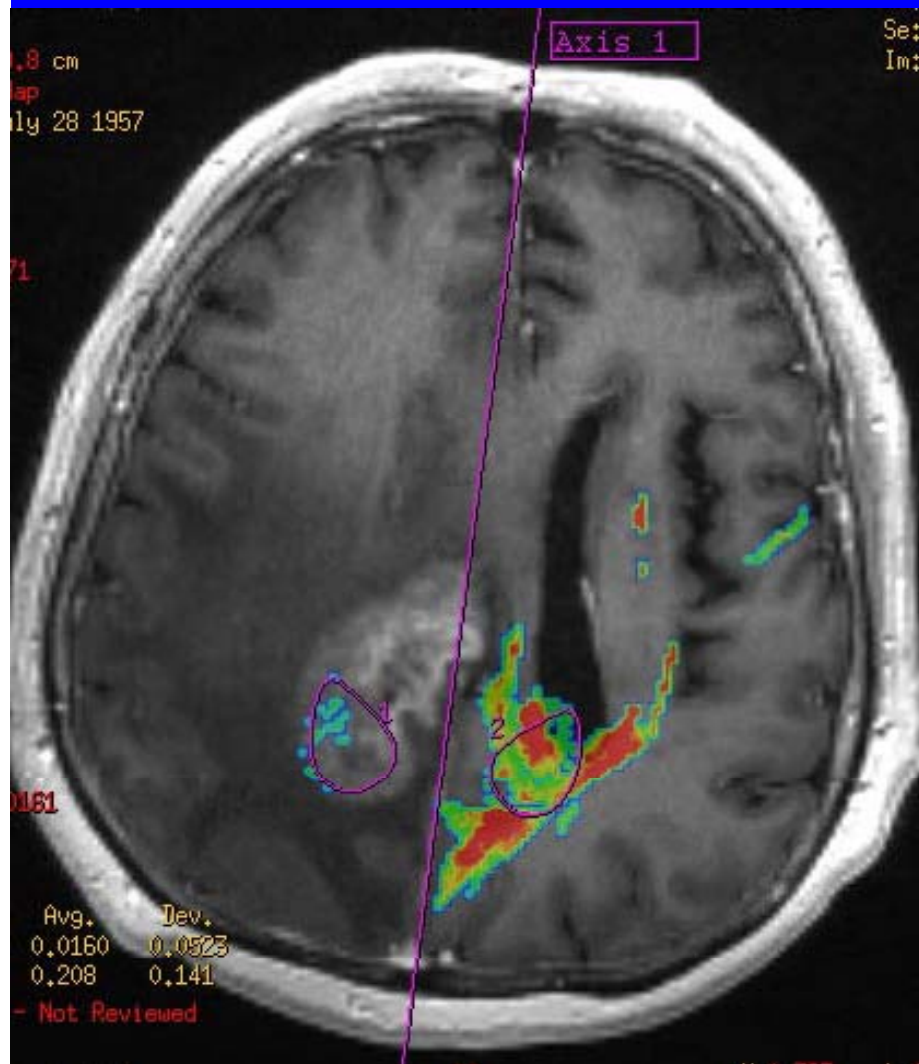
Цветные карты  
нервных волокон  
(fiber map)

Волокна оттеснены

Волокна метастазом разрушены  
(сравните с противоположной стороной)



## Та же пациентка. **Построение трактов**



ROI 1 – метастаз  
ROI 2 – симметричный  
контралатеральный участок мозга



Тракты в зоне МТС практически  
отсутствуют (разрушены)

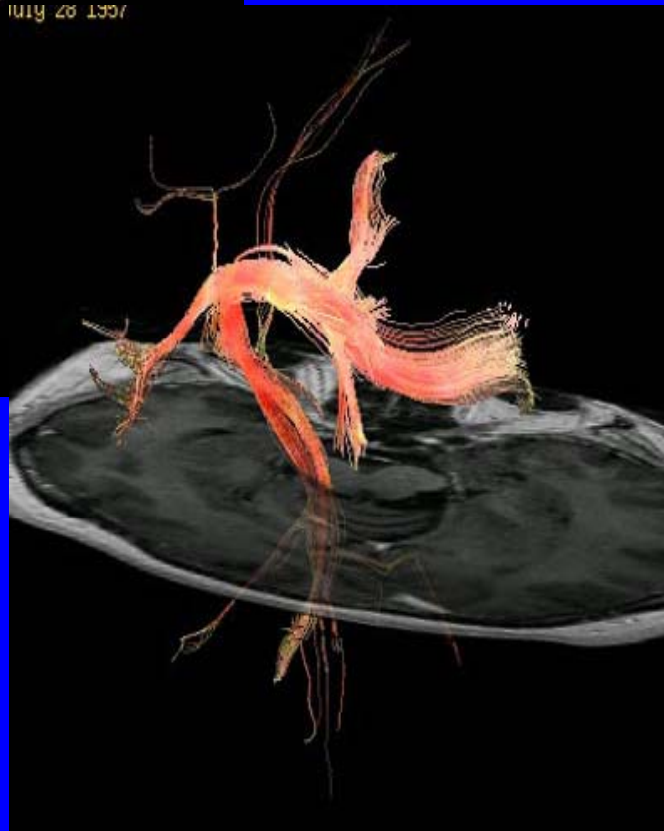




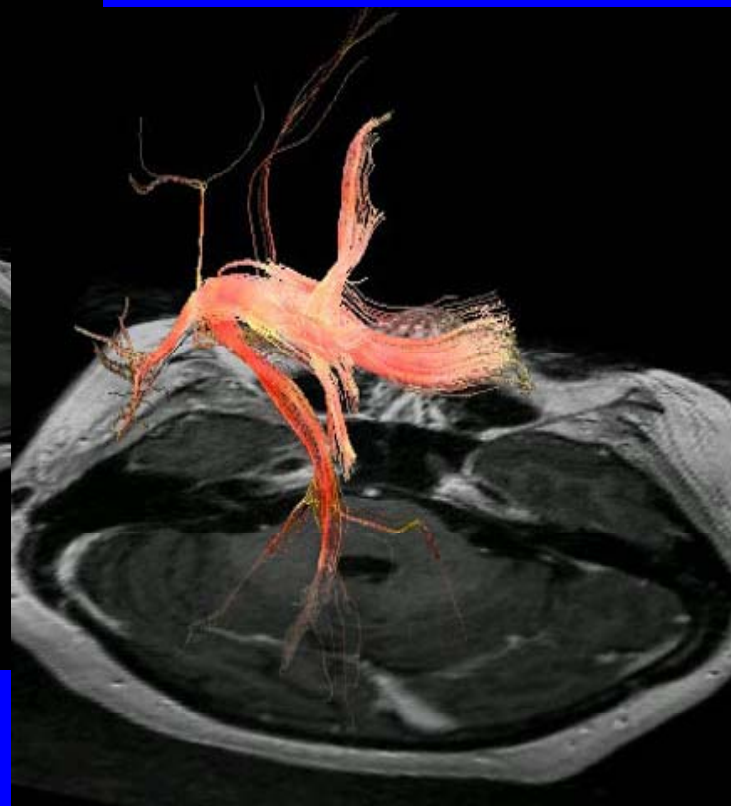
Та же пациентка.

**Тракты, проходящие в  
нормальном веществе мозга**

**Тракты + T1-ВИ  
в плоскости  
метастаза**

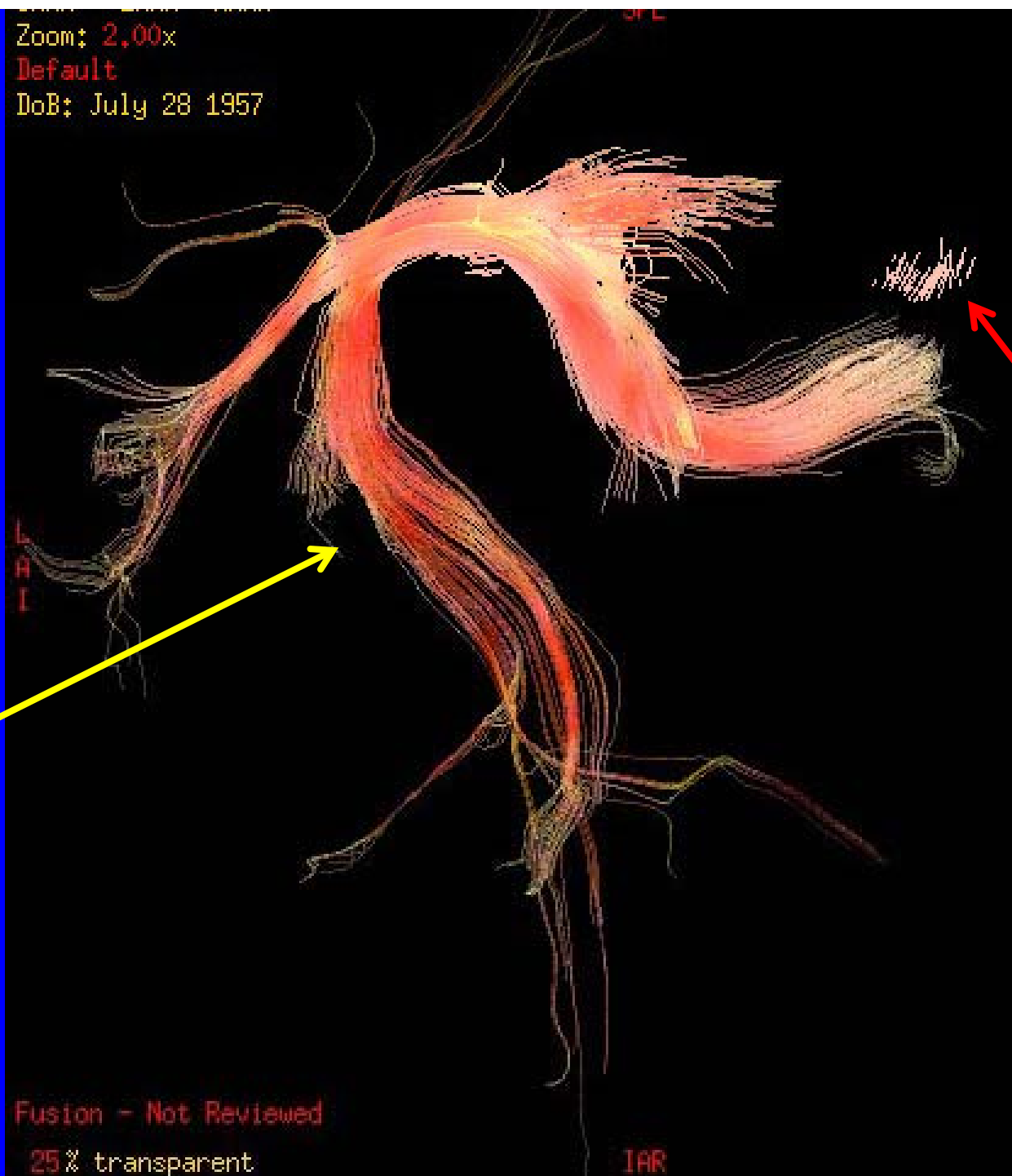


Уровень ножек мозга



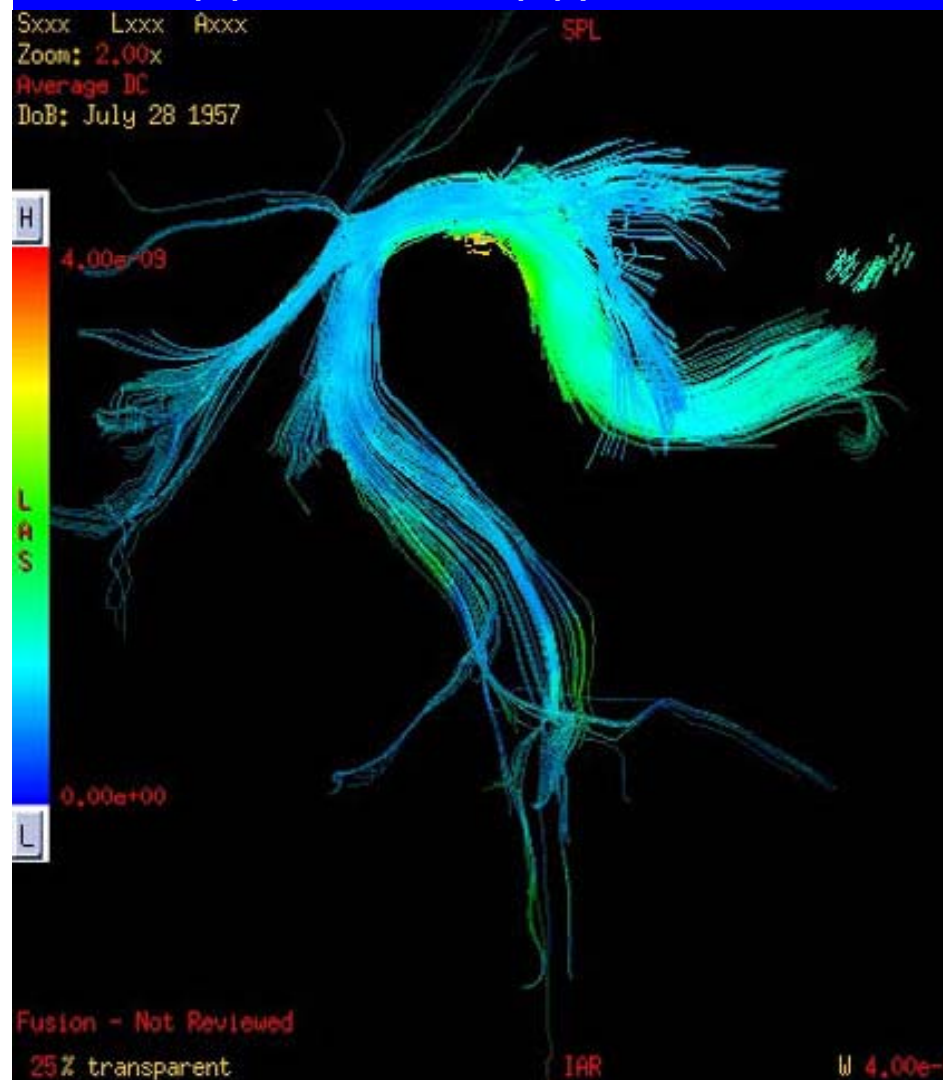
Уровень моста

Та же  
пациентка

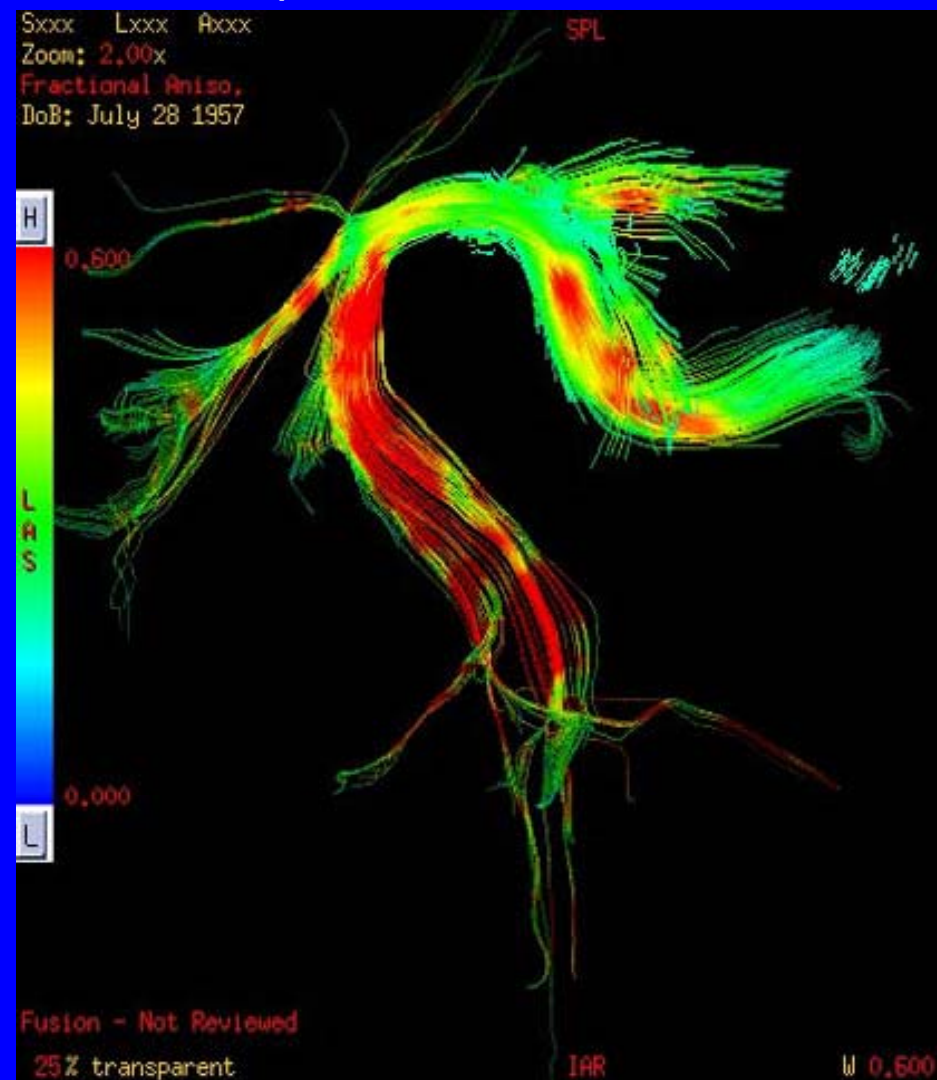


Та же пациентка. **Цветные карты трактографии**

Карта среднего  
коэффициента диффузии



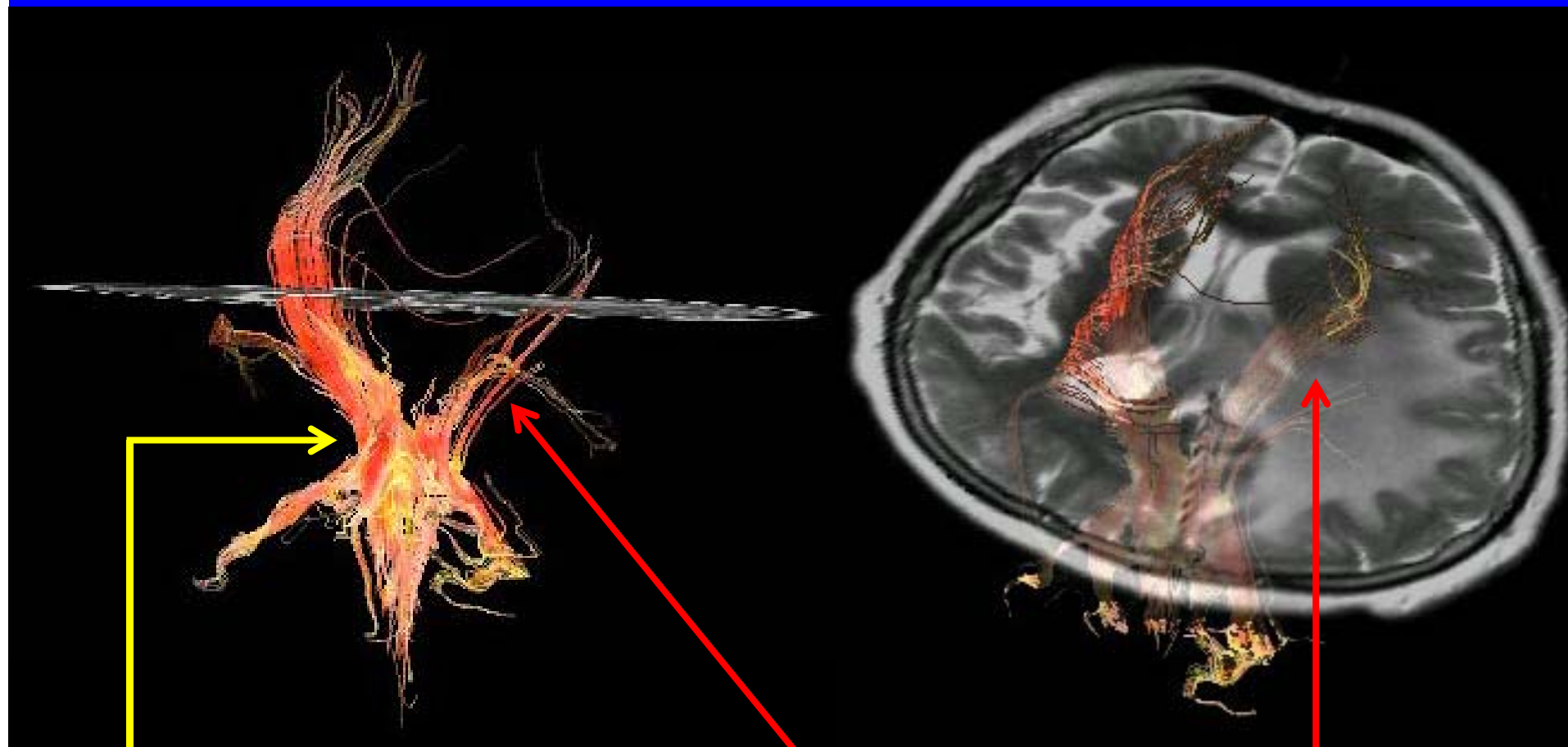
Карта фракционной  
анизотропии





Та же пациентка. **Построение кортикоспинальных трактов**

Какие именно тракты будут отображены определяется тем, где мы расположим **исходную точку для их построения**



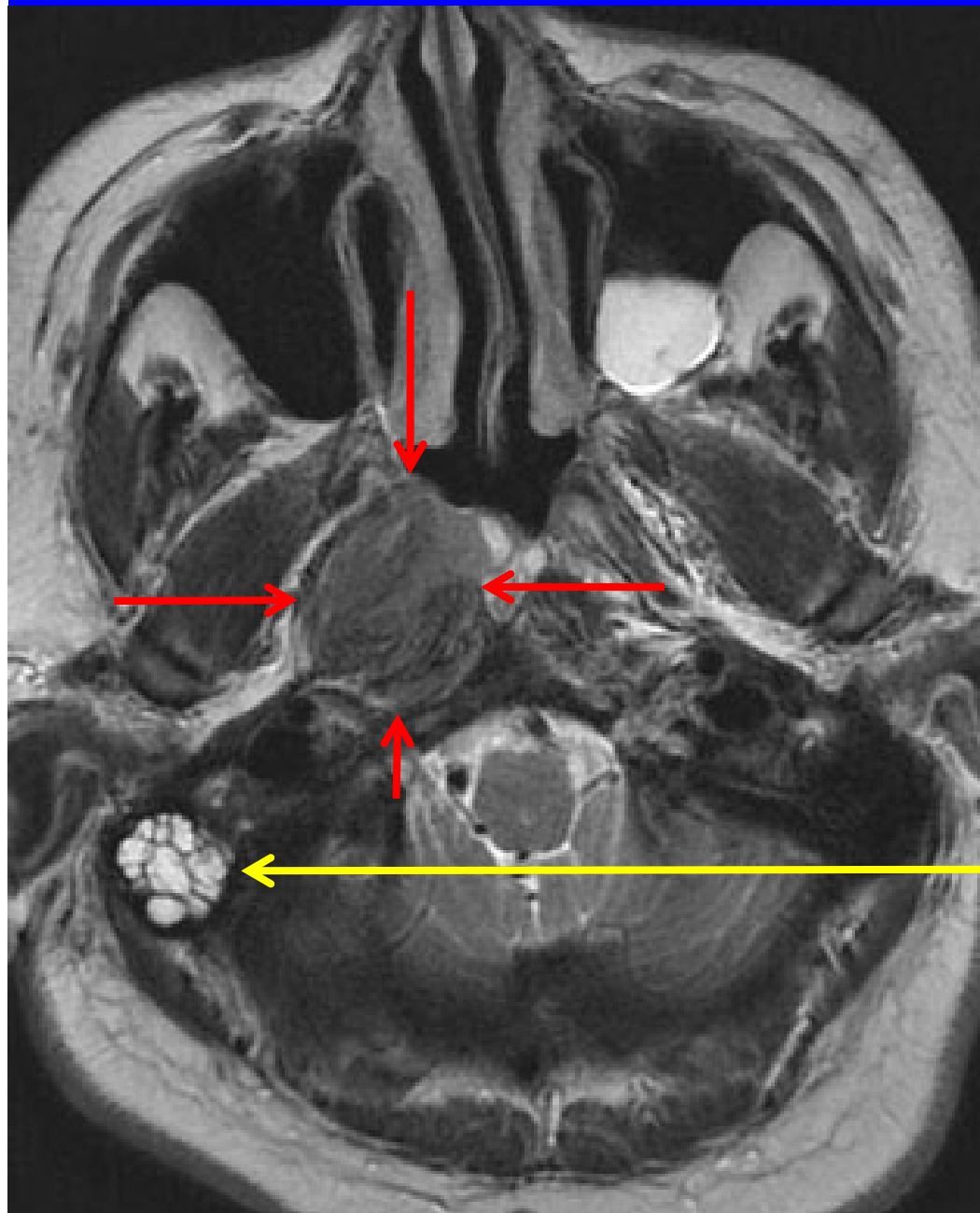
Исходную точку расположили  
в зоне ствола мозга

Кортико-спинальный тракт на  
стороне МТС резко истончен

## ***Изменение трактов при опухолях ГМ***

1. Оттеснение – характерно для доброкачественных опухолей
2. Инфильтрация – характерно для глиом G1,2
3. Разрушение – характерно для глиом G3,4 и больших метастазов

## ***ДВИ при опухоли носоглотки***



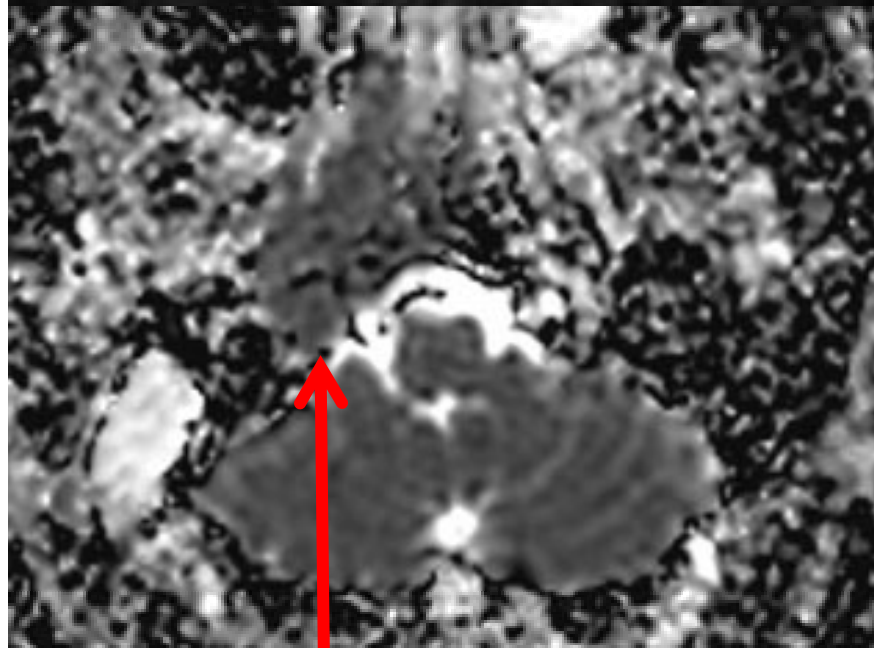
Пациентка Р., 58 лет.

Снижение слуха справа  
несколько месяцев,  
последнюю неделю  
появились боли в ухе

Направлена из РНПЦ НН,  
где выполнена МРТ на  
сканере 3 Тесла

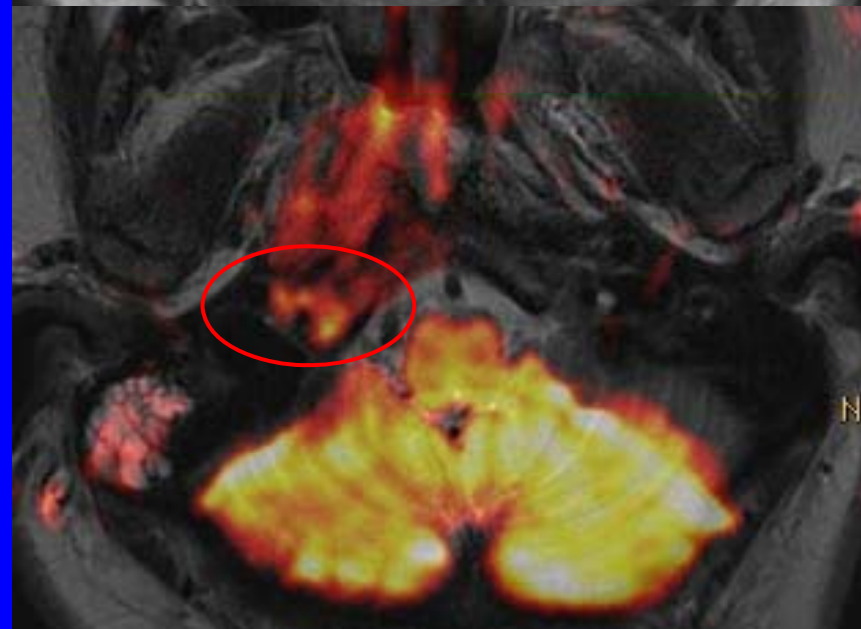
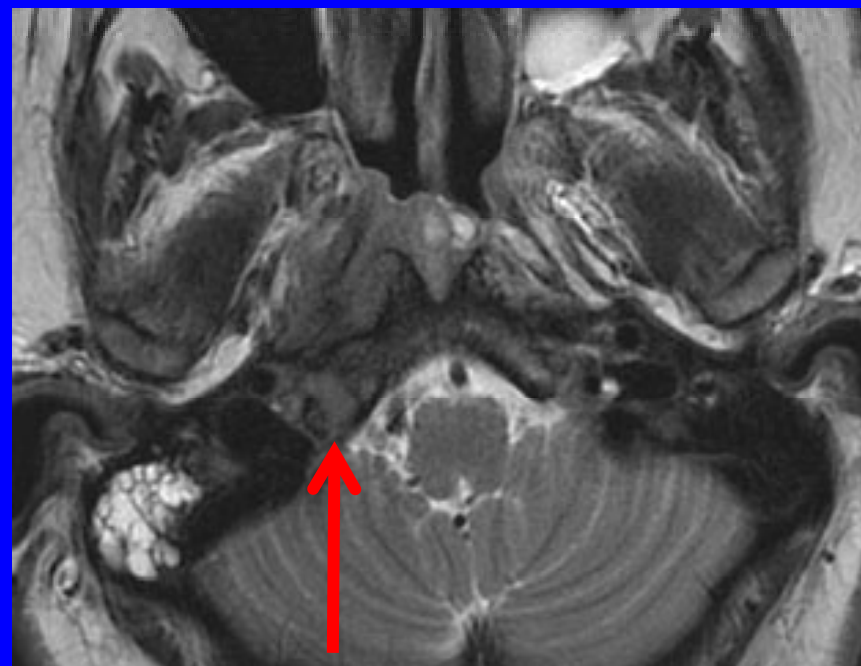
Жидкость в правом  
сосцевидном отростке —  
нет ли связи с опухолью?

Та же пациентка



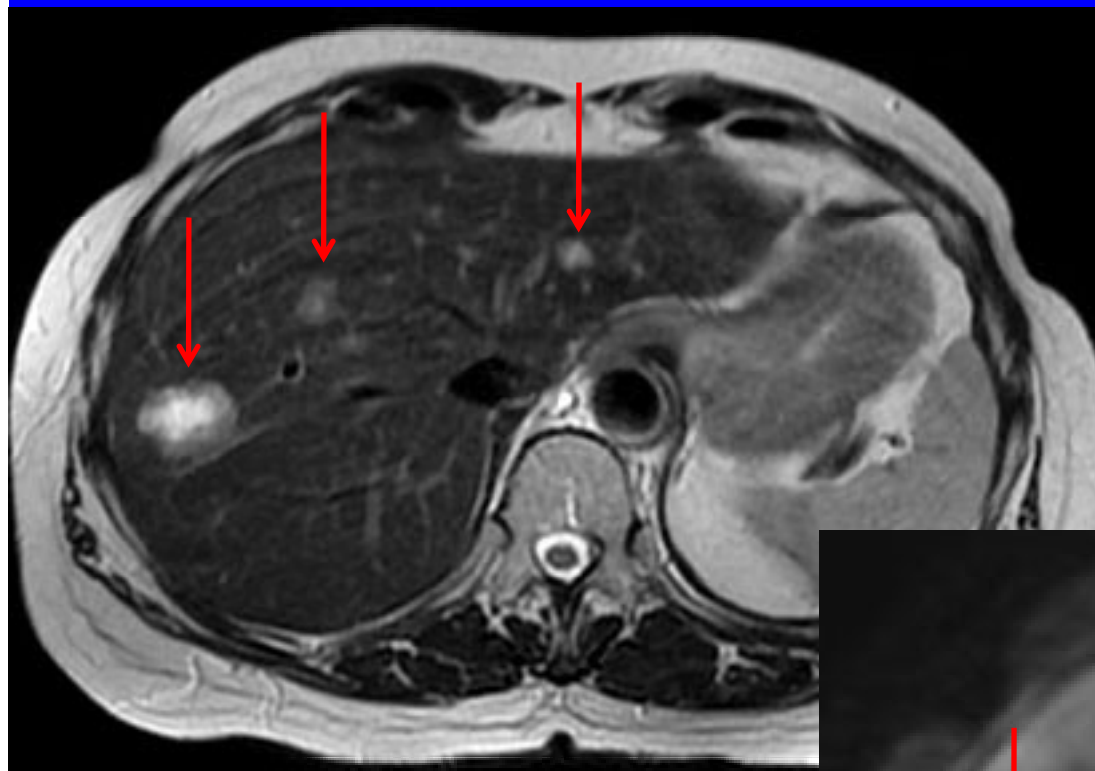
ИКД в опухоли 0,72 (снижен),  
врастание в пирамиду височной кости

МР-картина с-г носоглотки с врастанием  
в пирамиду височной кости



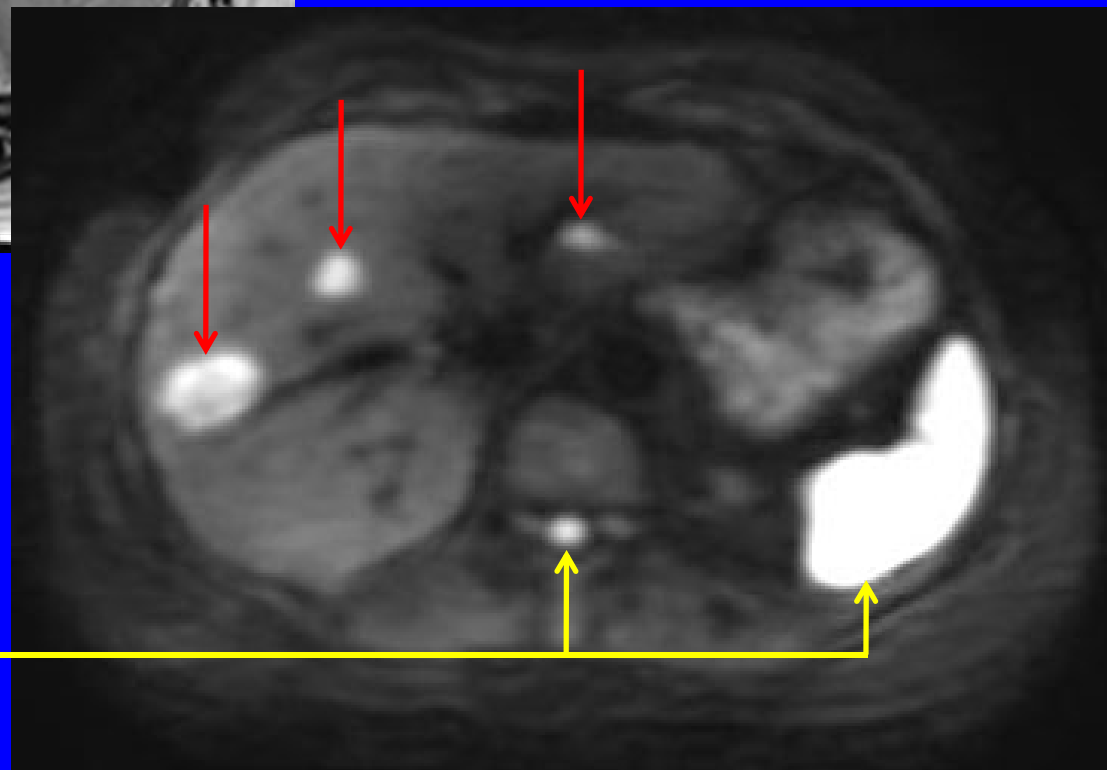
# ***ДВИ при опухолях печени***

## ***ДВИ при метастазах в печени***



Пациентка К., 62 года. Рак молочной железы с метастазами в печени

При ДВИ метастазы видны более контрастно за счет подавления сигнала от нормальных тканей

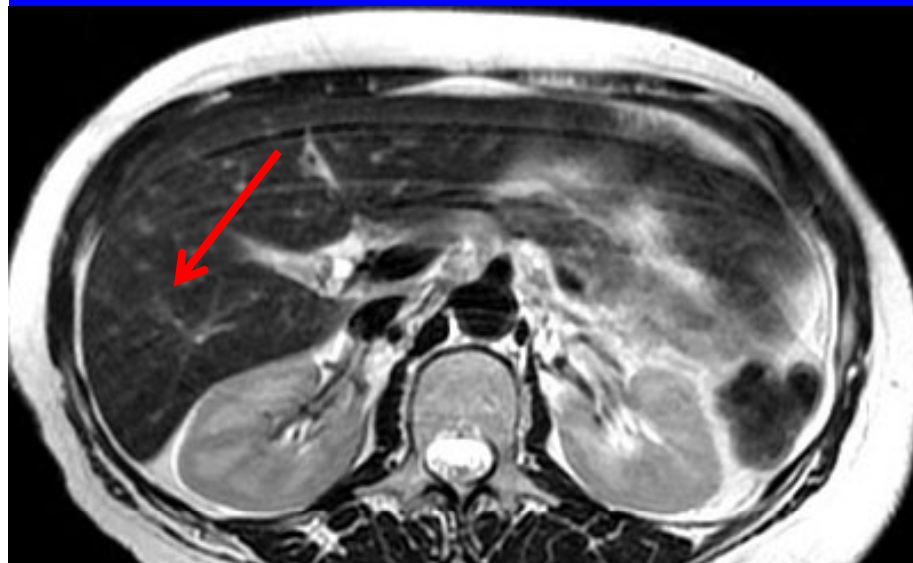


Физиологическое ограничение диффузии в спинном мозге и селезенке



Та же пациентка. **ДВИ** выявляет больше метастазов, чем другие серии МРТ

Этот МТС **виден на ДВИ** лучше, чем на T2-ВИ



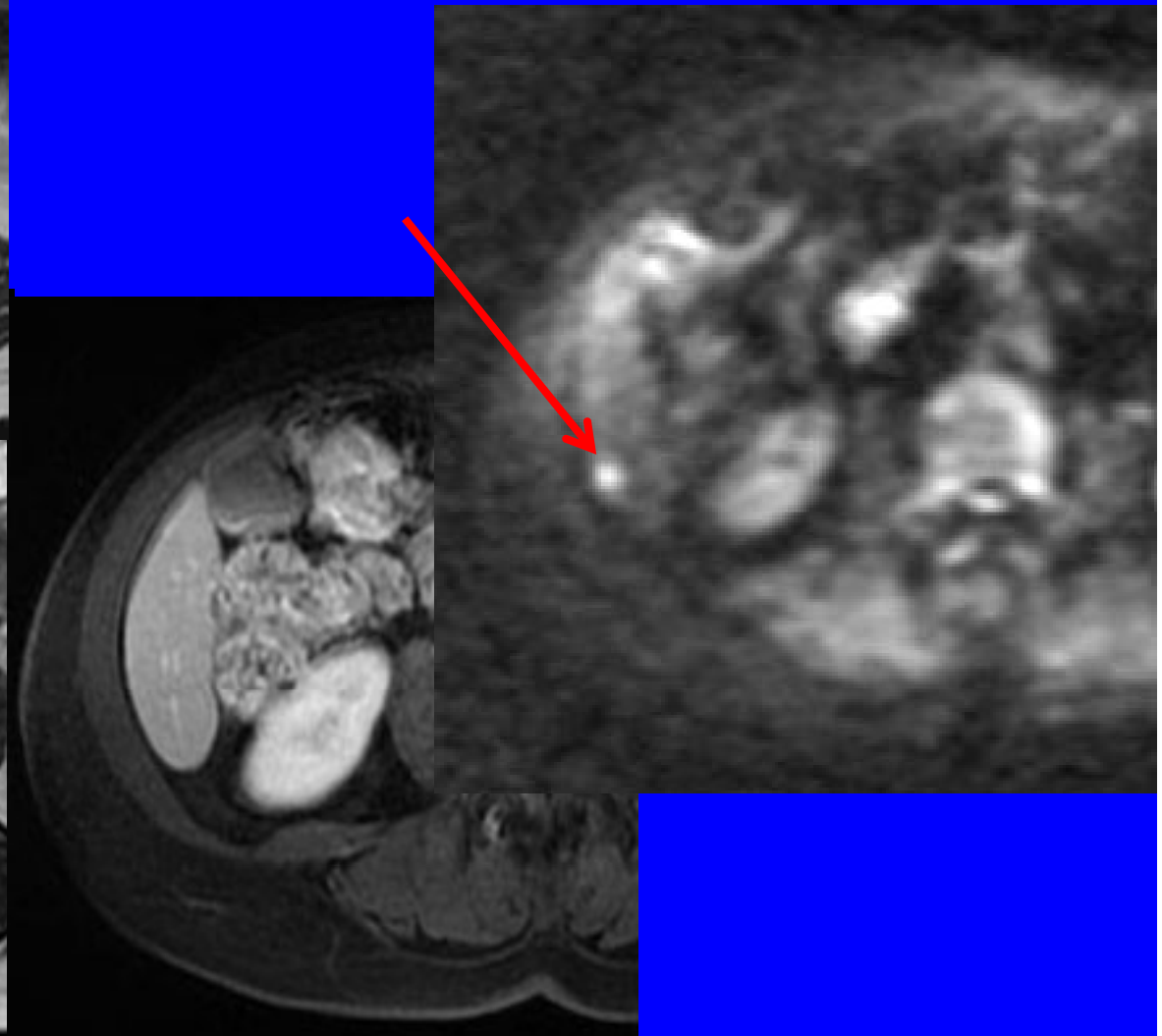
Эти мелкие (4-5 мм) МТС **видны только на ДВИ**



Та же пациентка. **ДВИ может быть информативнее, чем МРТ с в/в усилением**

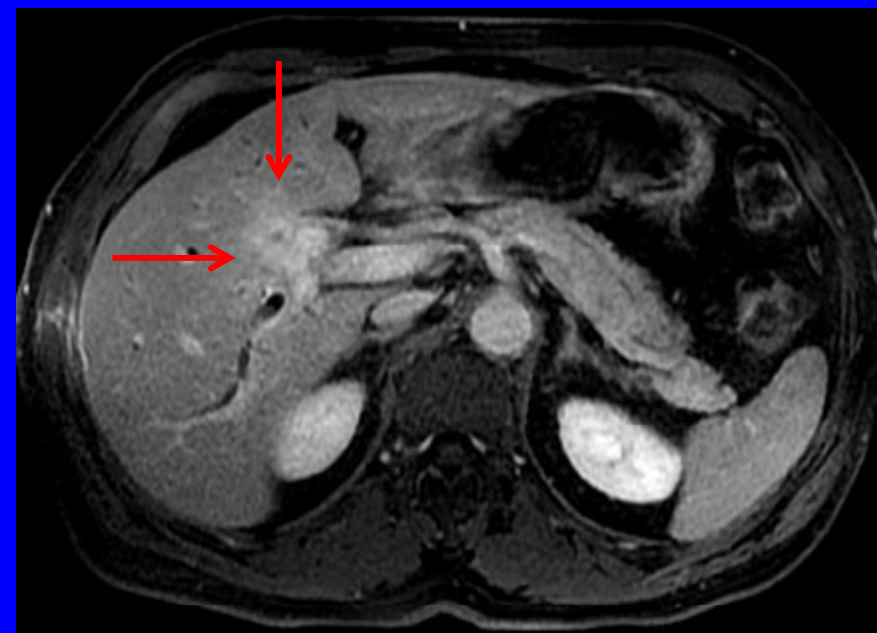
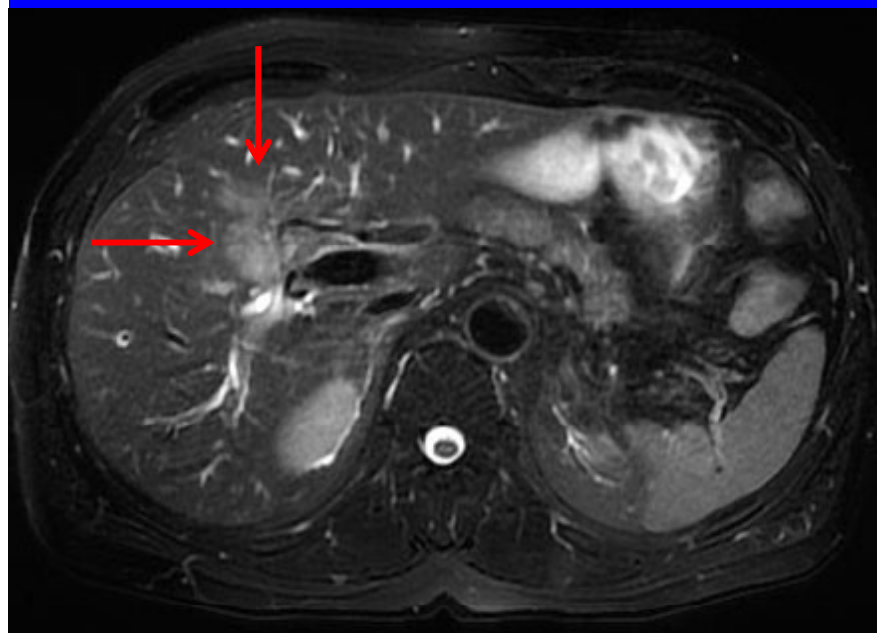
Этот метастаз:

- не виден на T2-ВИ
- виден на T1-ВИ и на ДВИ
- не виден (маскируется) на T1-ВИ после в/в введения контрастного вещества

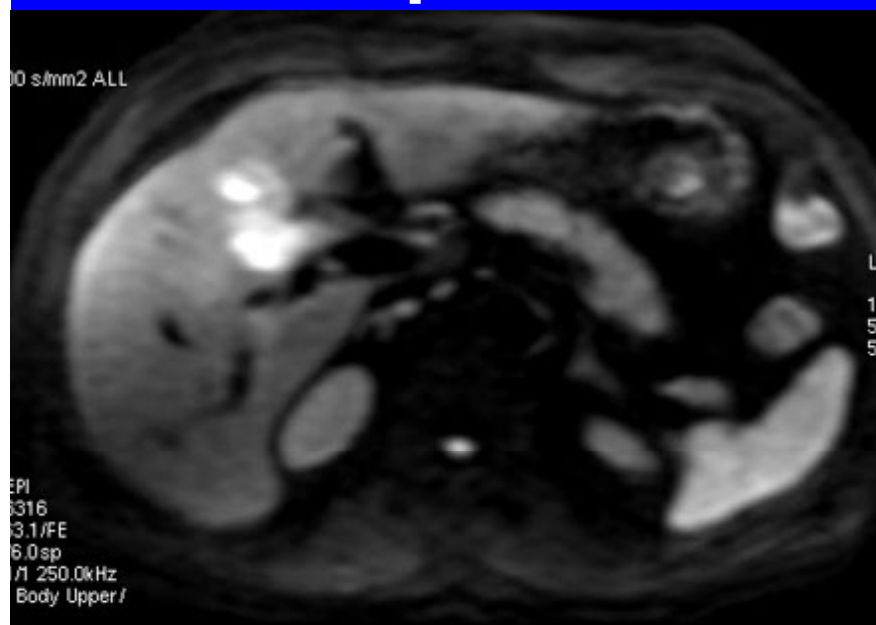


# ДВИ при опухоли Клацкина

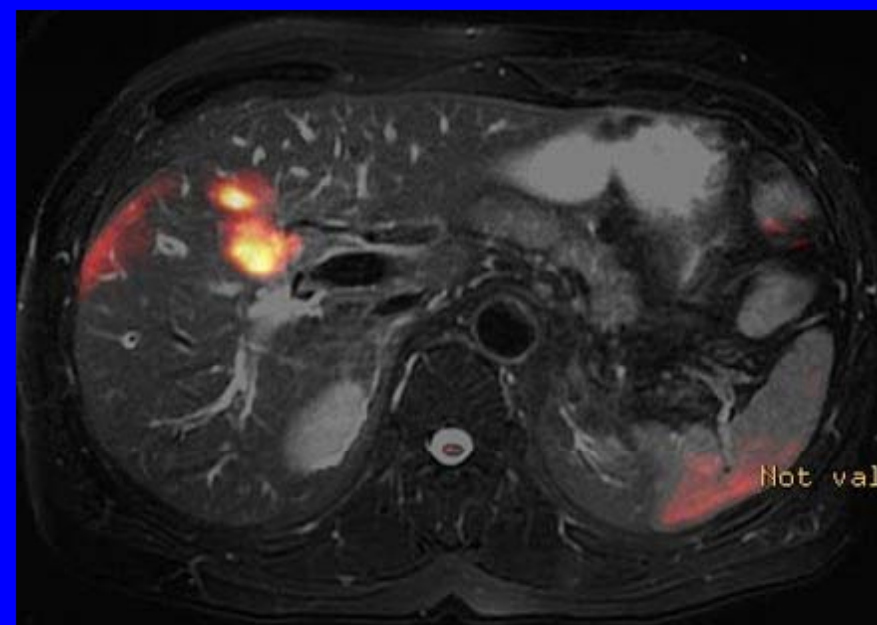
Пациент 3., 62 года



+

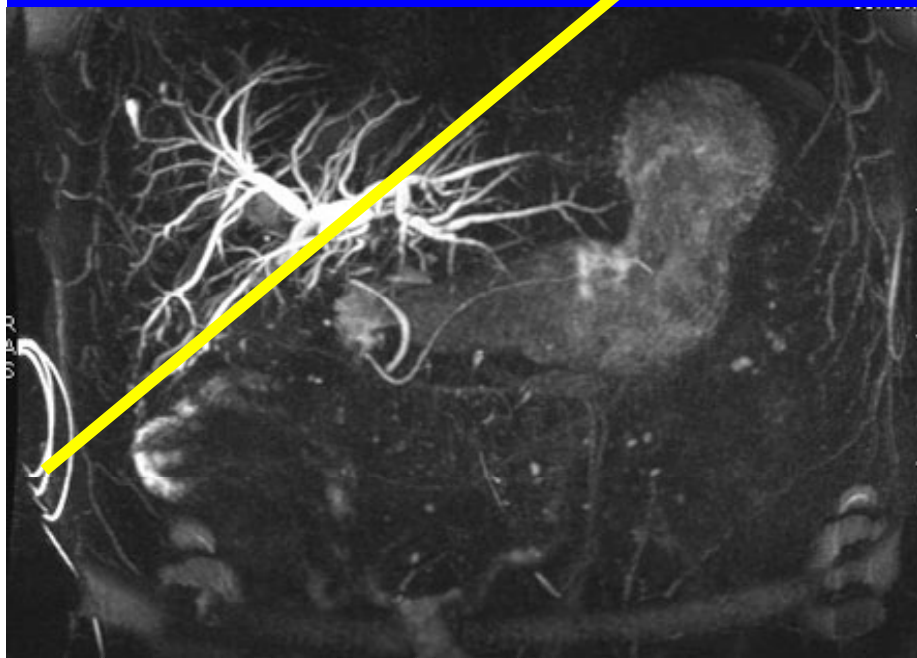


=

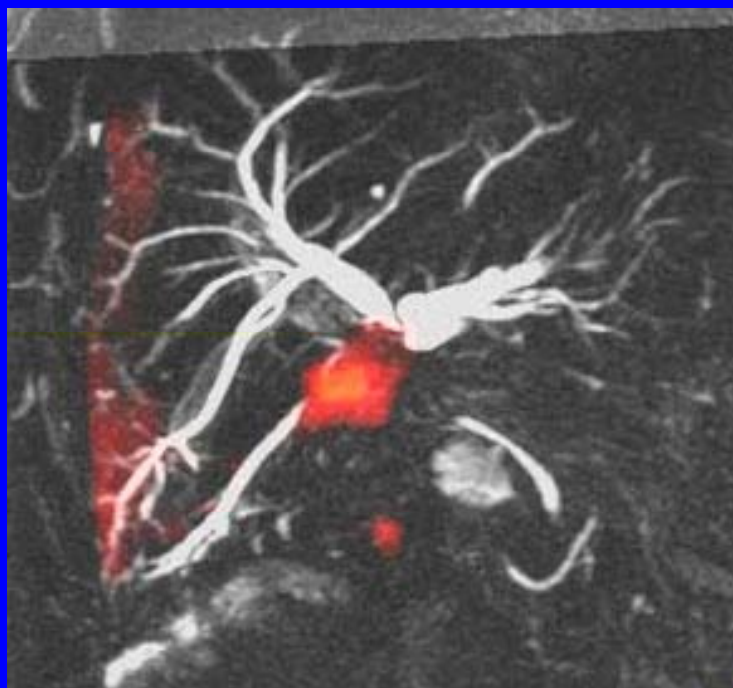
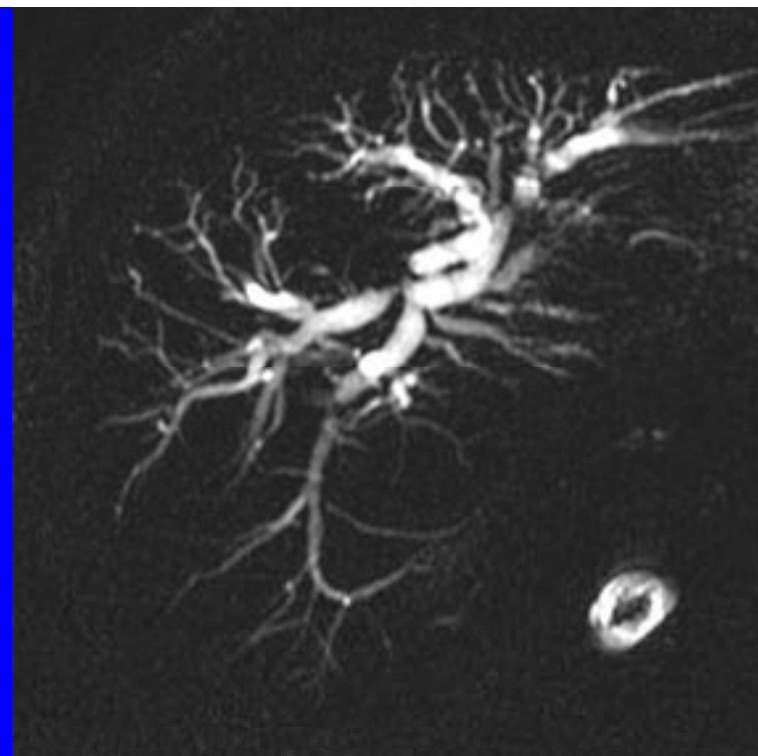




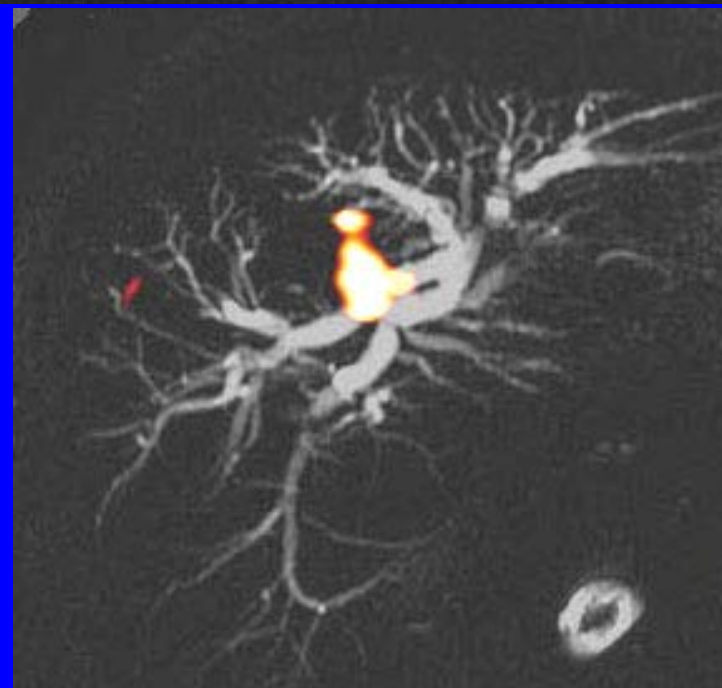
Тот же пациент



**МРХПГ**



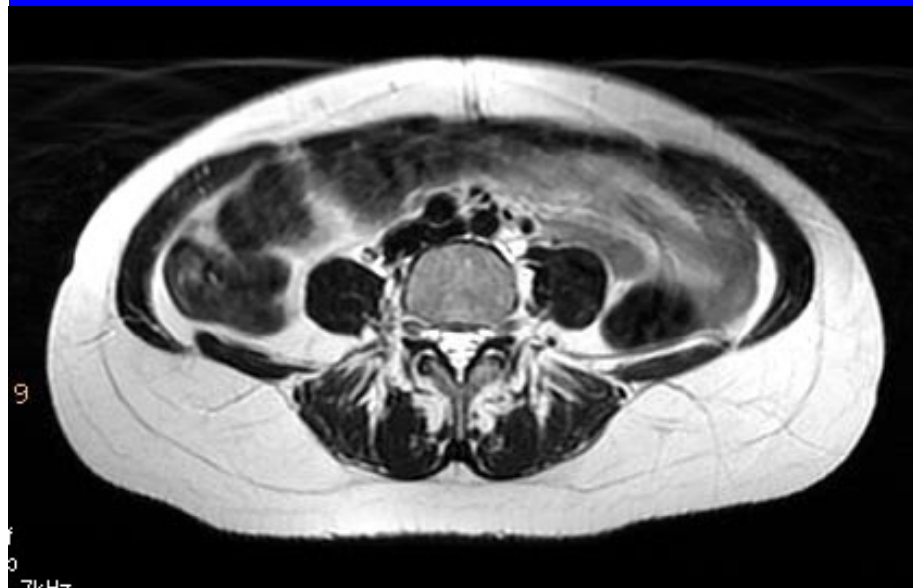
**МРХПГ  
+  
ДВИ**



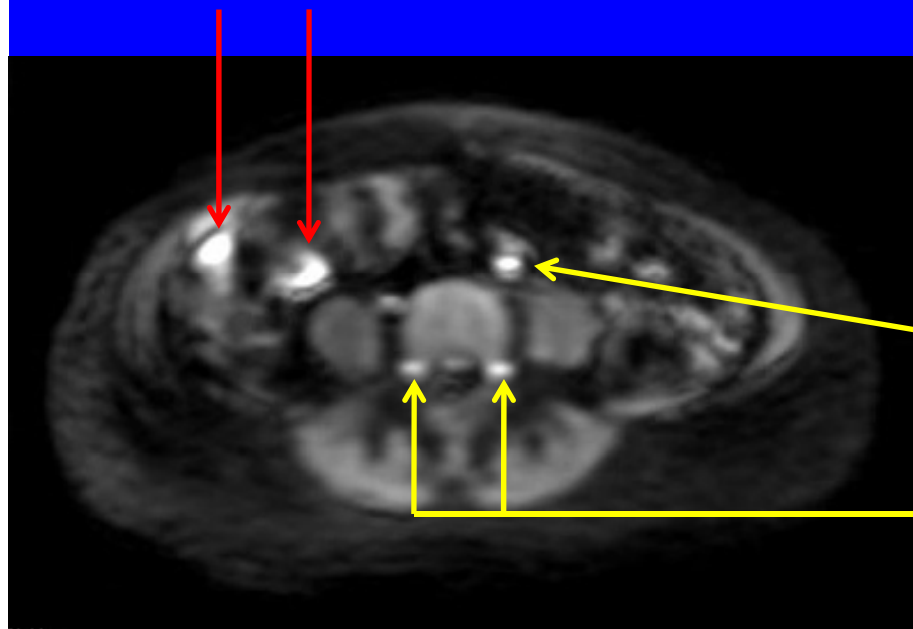
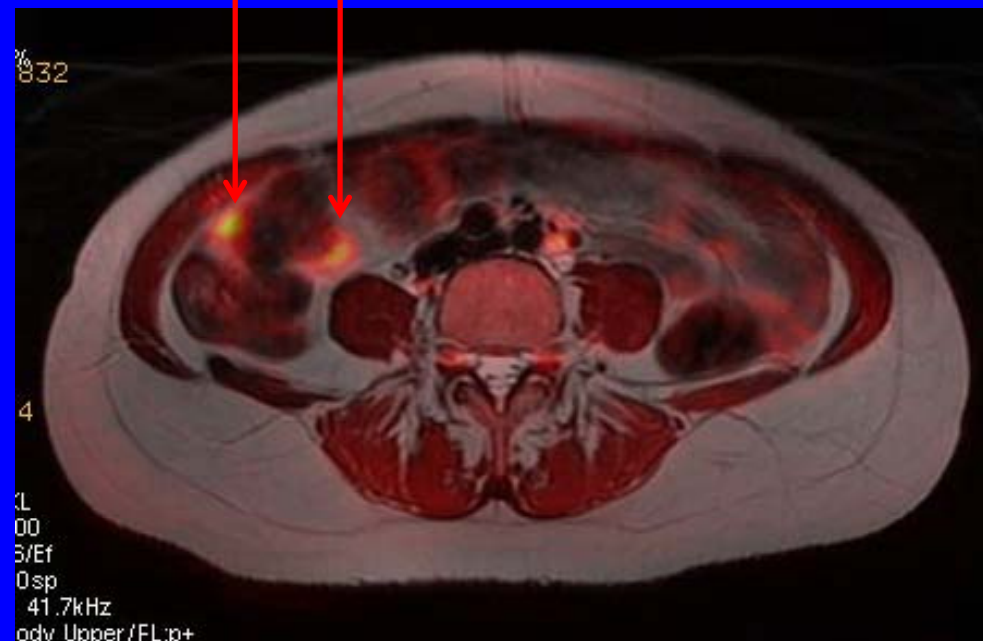
***ДВИ при опухолях  
таза у женщин***

# ДВИ при раке яичников

Пациентка Х., 54 года. **Рак яичников**, комбинированное лечение в 2011-2012 гг. (матка, яичники, б/сальник удалены)



Опухолевые диссемины  
на брюшине

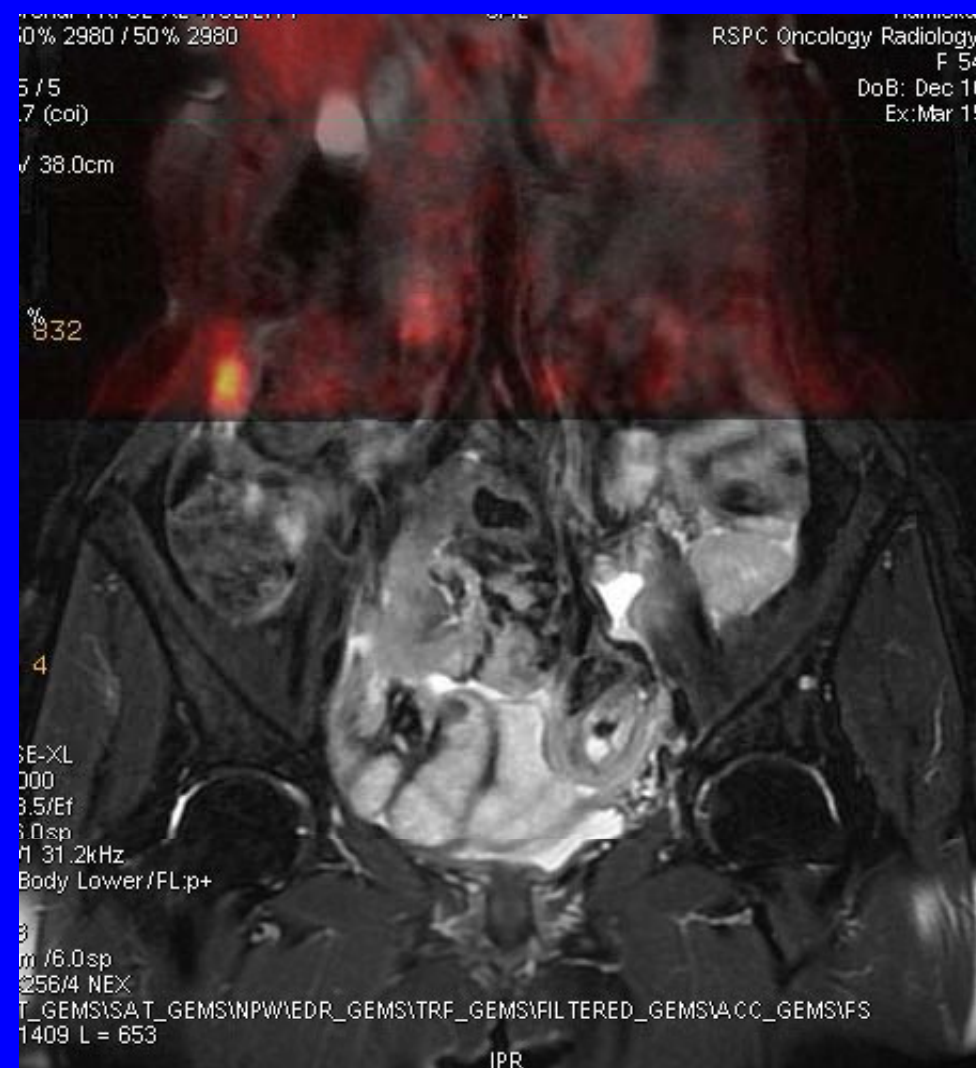


Лимфоузел

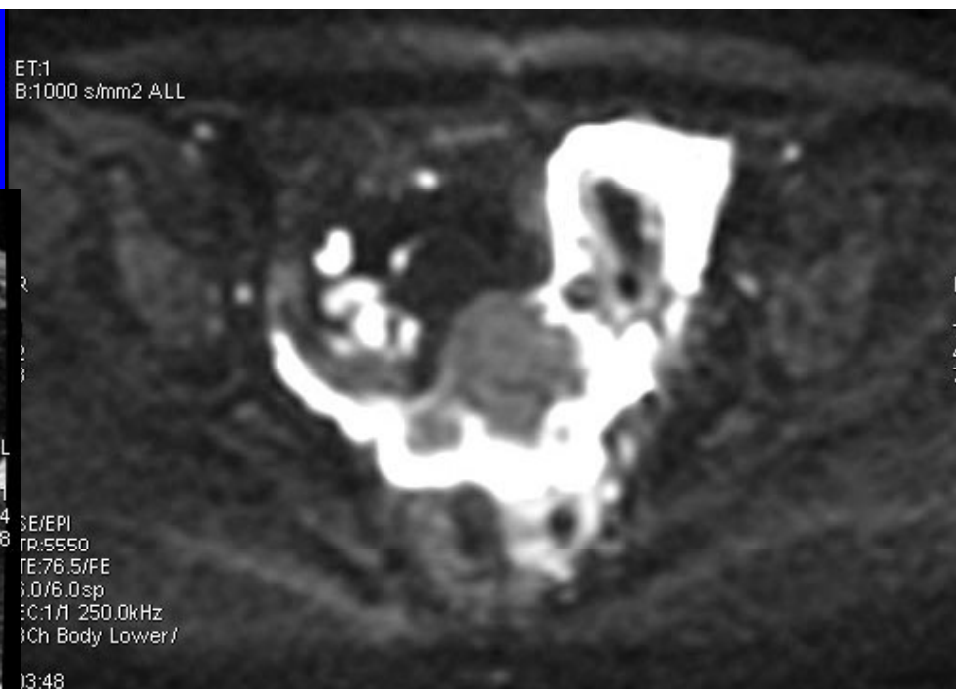
Нервные корешки



## Та же пациентка



Та же пациентка





## Та же пациентка

ET:1  
B:1000 s/mm2 ALL

R

1  
2  
3

L

1  
4  
7

SE/EPI  
TR:5550  
TE:76.5/FE  
6.0/6.0sp  
EC:1/1 250.0kHz  
8Ch Body Lower /

03:48

50 % 4.94

R

1.11

1 2 2

L

1 4 8

Not validated

FFRSE-XL  
TR:7000  
TE:110/Ef  
5.5/5.5sp  
EC:1/1 31.2kHz  
8Ch Body Lower/FL.p+

03:23

---

Та же пациентка

ДВИ в инвертированной  
шкале серого цвета –  
**«ПЭТ-подобные»**

ETC1  
B:1000 s/mm2 ALL

R  
1  
0  
0

L  
2  
2  
2

SE/EPI  
TR:5550  
TE:78.5/PE  
8.0/8.0sp  
EC:1/1 250.0kHz  
8Ch Body Lower/

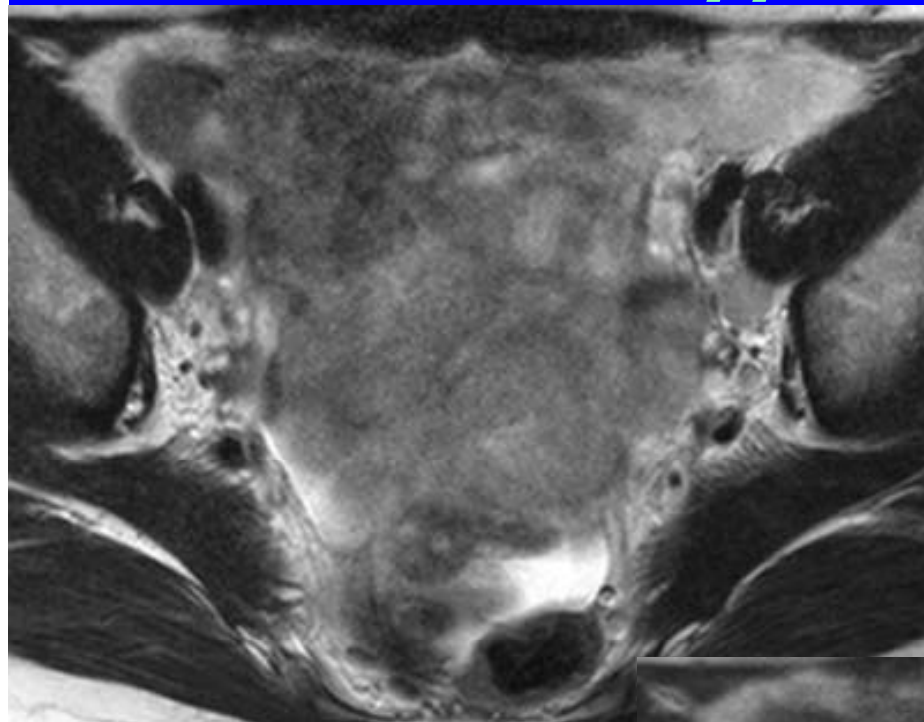
03:48

ETC1  
B:1000 s/mm2 ALL

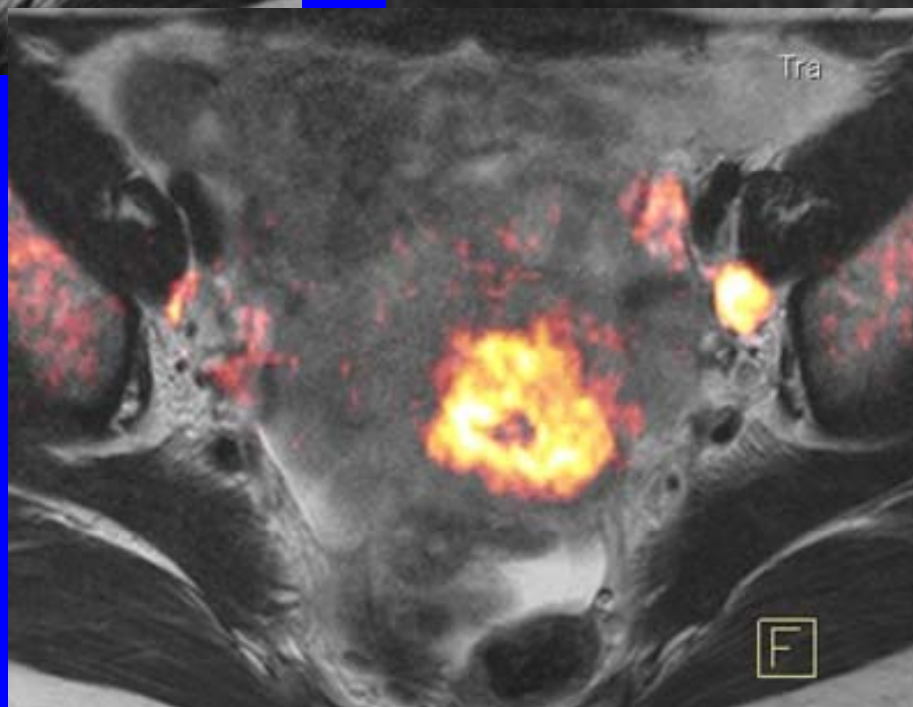
R  
1  
0  
0

SE/EPI  
TR:5550  
TE:78.5/PE  
8.0/8.0sp  
EC:1/1 250.0kHz  
8Ch Body Lower/

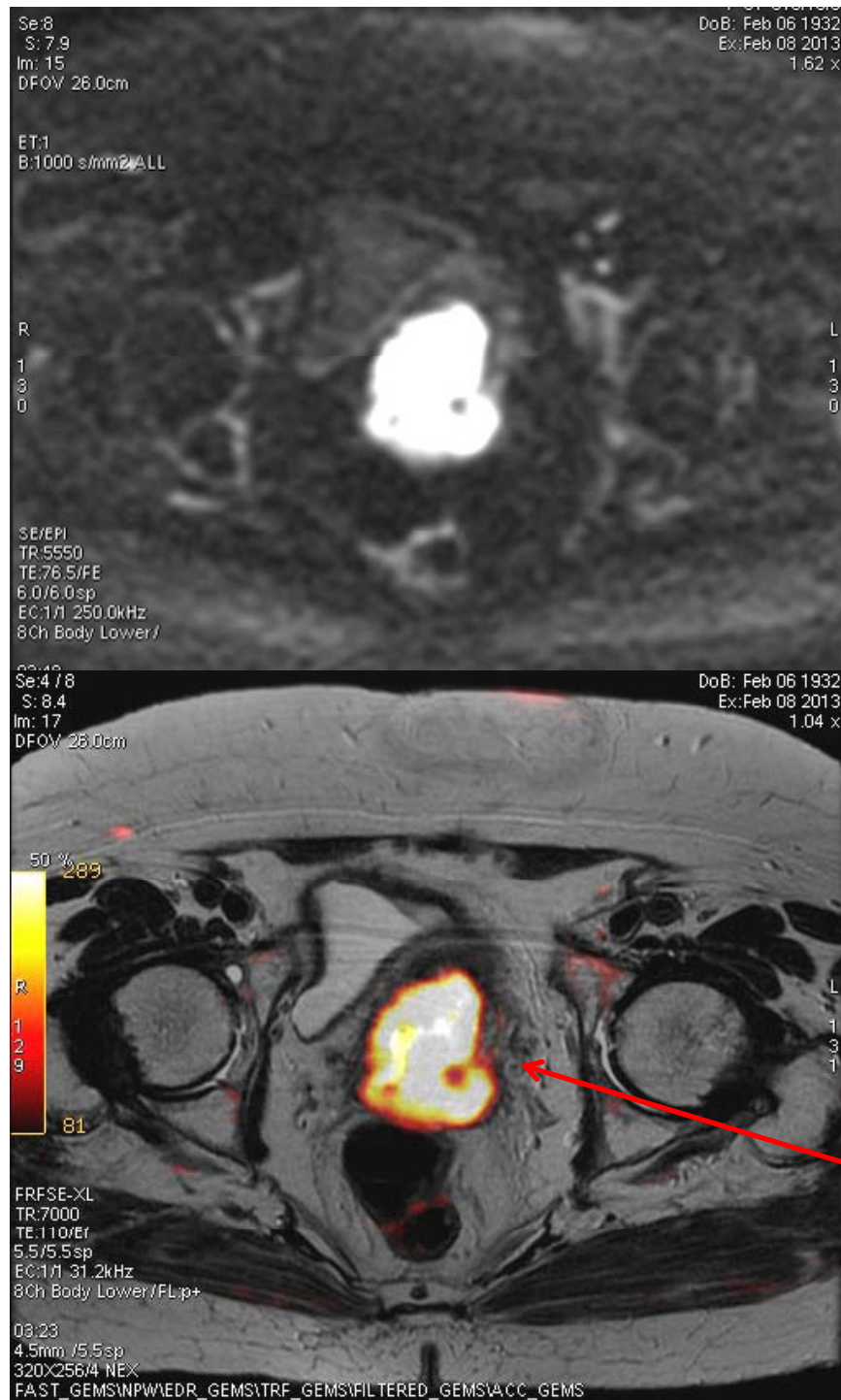
## ***ДВИ при раке шейки матки***



Пациентка М., 29 л.  
РШМ, T2bN1







Пациентка П., 81 года. Рак шейки матки, T2b



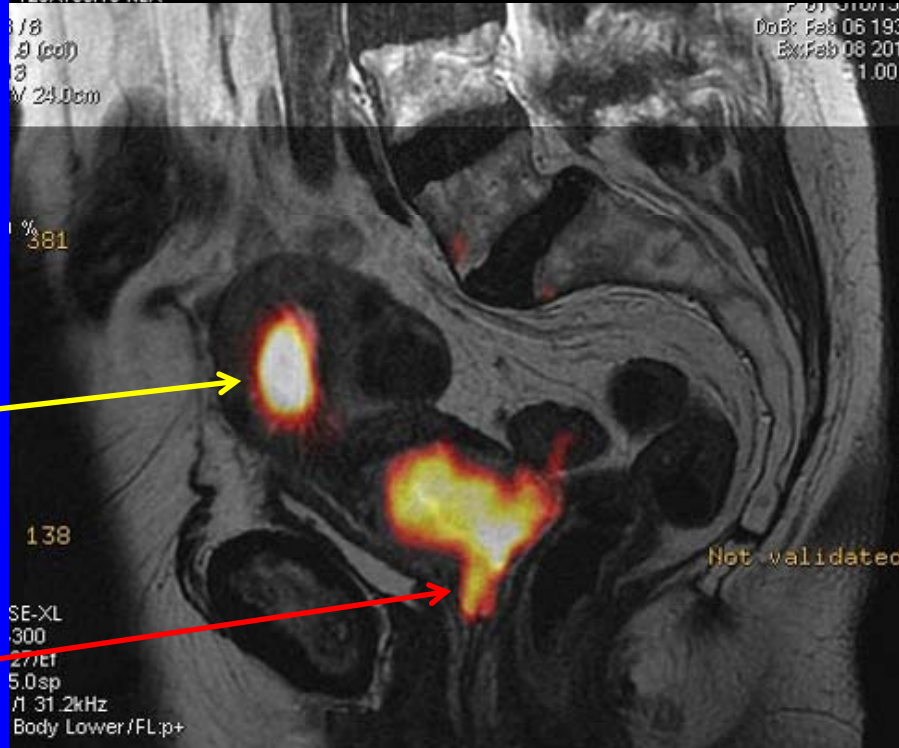
Врастание опухоли в левый параметрий

Та же пациентка



Физиологическое ограничение  
диффузии в эндометрии

Инвазия во влагалище





Та же пациентка. **Количественная оценка диффузии**

Изображение b1000



Карта ИКД



1. ИКД в **солидной части опухоли** = 0,70
2. ИКД в зоне **опухолевого некроза** = 1,42

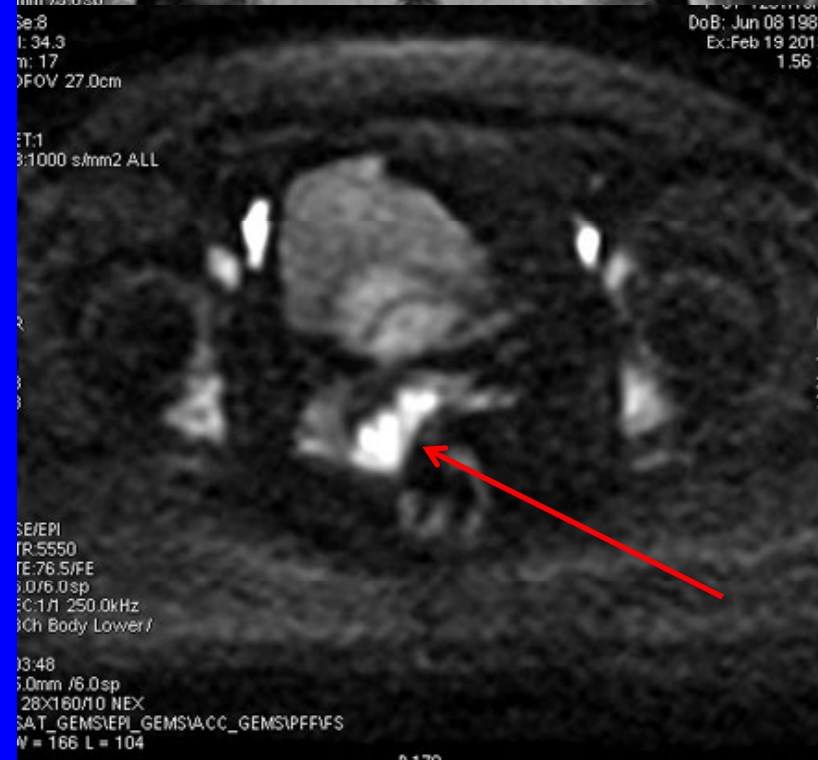
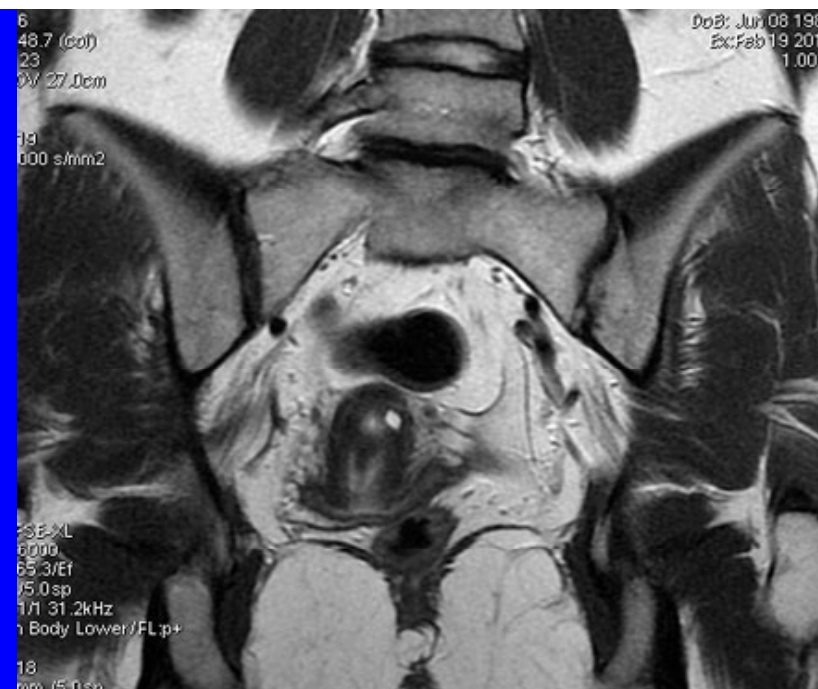
# ***ИКД в нормальных тканях матки и при РШМ***

Средние значения **ИКД опухоли**  $0,82 \pm 0,14 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$

**Таблица 2.** Значения ИКД слоев шейки матки, параметриев и наботных кист,  $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$

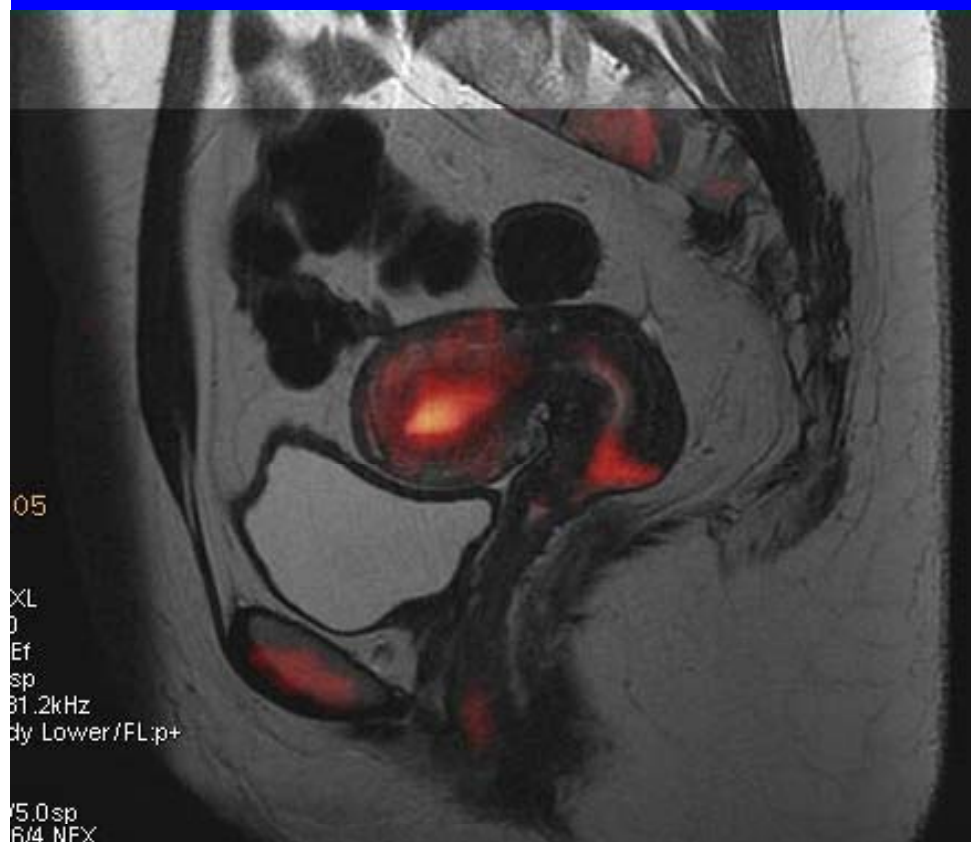
| Значение             | Эндоцервикс<br>(n = 16) | Внутренняя строма<br>(n = 25) | Наружная строма<br>(n = 23) | Параметрий<br>(n = 24) | Наботовы кисты<br>(n = 12) |
|----------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Среднее $\pm \sigma$ | $1,41 \pm 0,25$         | $0,44 \pm 0,18$               | $1,07 \pm 0,29$             | $1,64 \pm 0,27$        | $1,91 \pm 0,32$            |
| Минимальное          | 1,01                    | 0,15                          | 0,6                         | 1,22                   | 1,42                       |
| Максимальное         | 1,76                    | 0,8                           | 1,69                        | 2,06                   | 2,39                       |

Пациентка Л., 31 года Рак шейки матки, T1b1





Та же пациентка



## Та же пациентка. Уточнение состояния лимфоузлов с помощью ДВИ



Размер л/узлов по короткой оси 6мм, т. е. не увеличены. ИКД:

1. в опухоли = 0,81

2. в правом подвздошном лимфоузле = 0,94

3. в левом подвздошном лимфоузле = 0,91

4. в эндометрии = 1,35

## ***ИКД в лимфоузлах таза при раке шейки и тела матки***

ИКД метастатических л/узлов достоверно ниже (0,77) чем  
неметастатических (1,00)

(Kim J.K., 2008)

Совместное использование критерия размера л/узлов (более 1см по короткой оси) и ИКД повышало чувствительность по сравнению с только определением размеров с 25 до 83% при той же специфичности (98 против 99%)

Для метастатических л/узлов характерно меньшее относительное значение ИКД (разница между ИКД опухоли и л/у) чем для доброкачественных – 0,06 и 0,21 соответственно

(Lin G., 2008)

# Гиперплазия л/узлов таза



Пациентка Д., 49 лет.

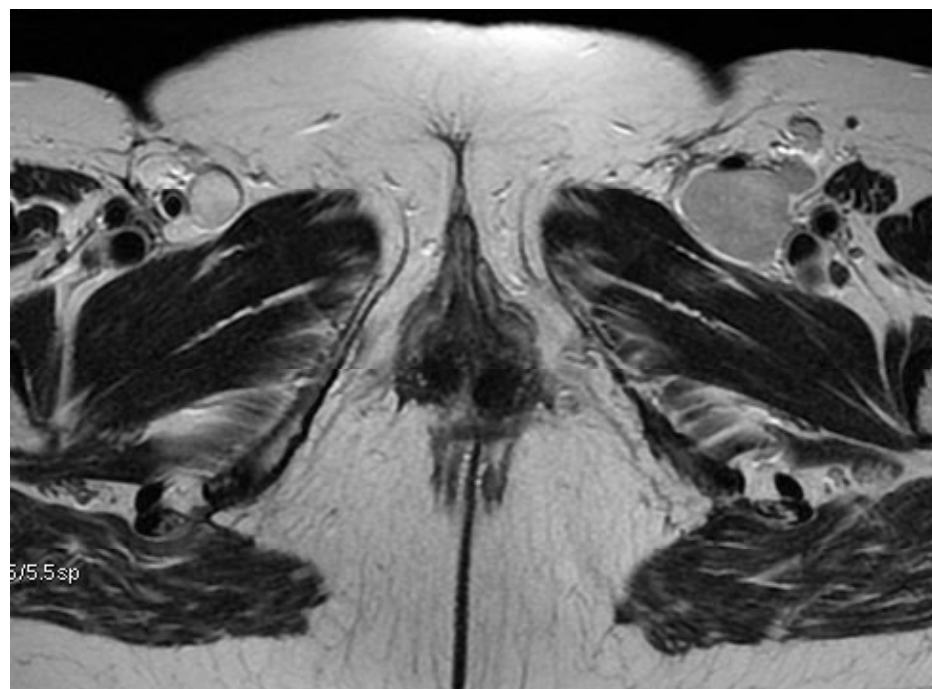
Экстирпация матки с  
придатками в 1998 г. по  
поводу **РШМ, T1b1**

При УЗИ многократно:  
«МТС в паховых л/узлах»

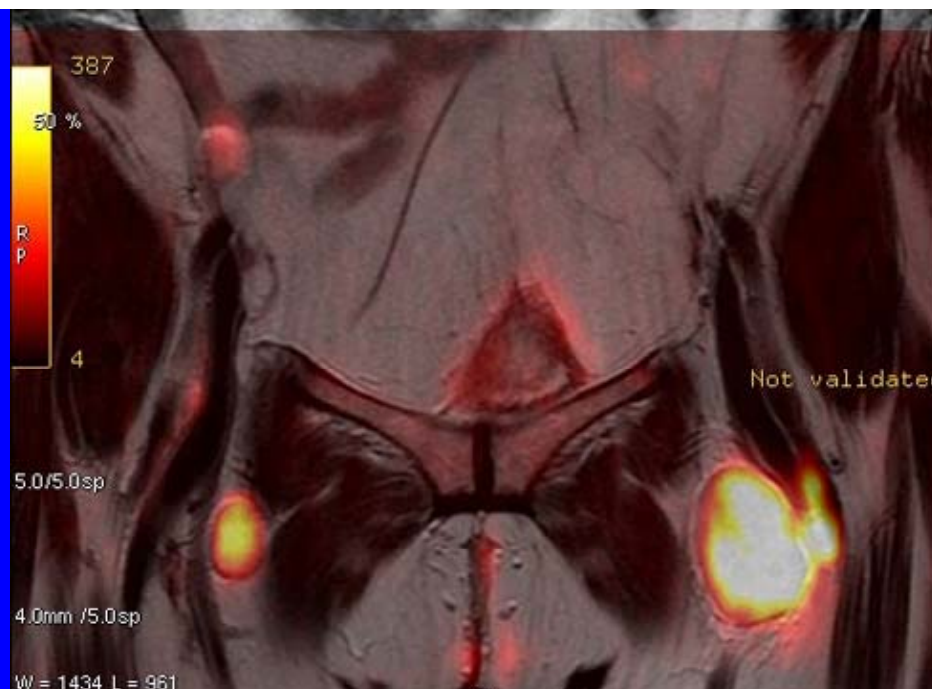
В 2008, 2010, феврале 2012  
гг. удалялись л/узлы –  
постоянно «гиперплазия»

**Назначено и 20.03.2013 г.  
выполнено МРТ таза с ДВИ**





DFOV 27.0cm



Ex: Mar 20 201





## Та же пациентка. Измерение коэффициентов диффузии



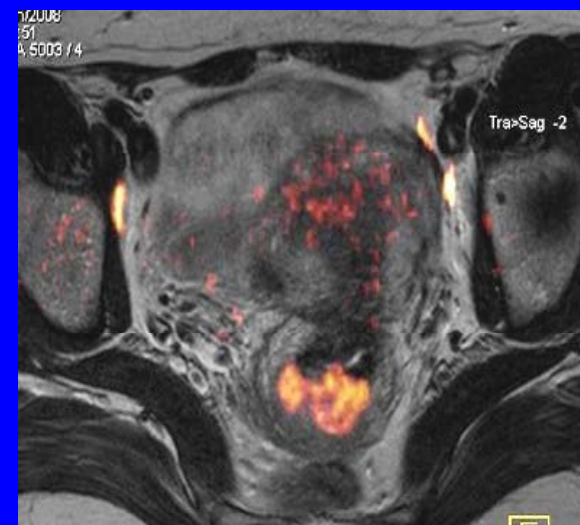
ИКД в л/узлах = 1,12-1,29 >>> **гиперплазия**

**Вывод:** ДВИ показывает как яркие очаги все лимфоузлы, в том числе доброкачественные. Для их дифференциации со злокачественными необходимо измерять коэффициент диффузии (ИКД)

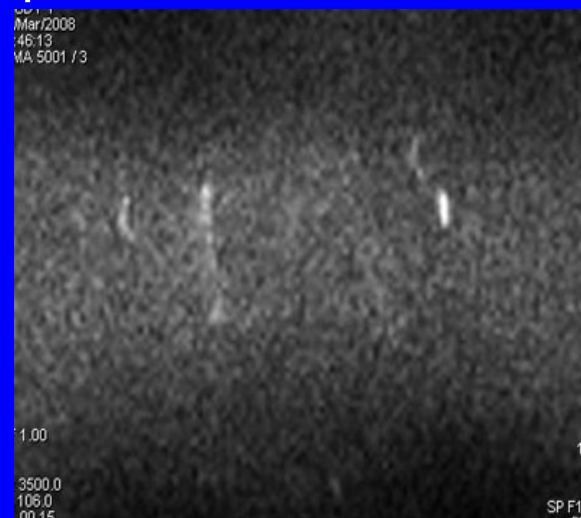
# Оценка эффективности лечения РШМ

До лечения

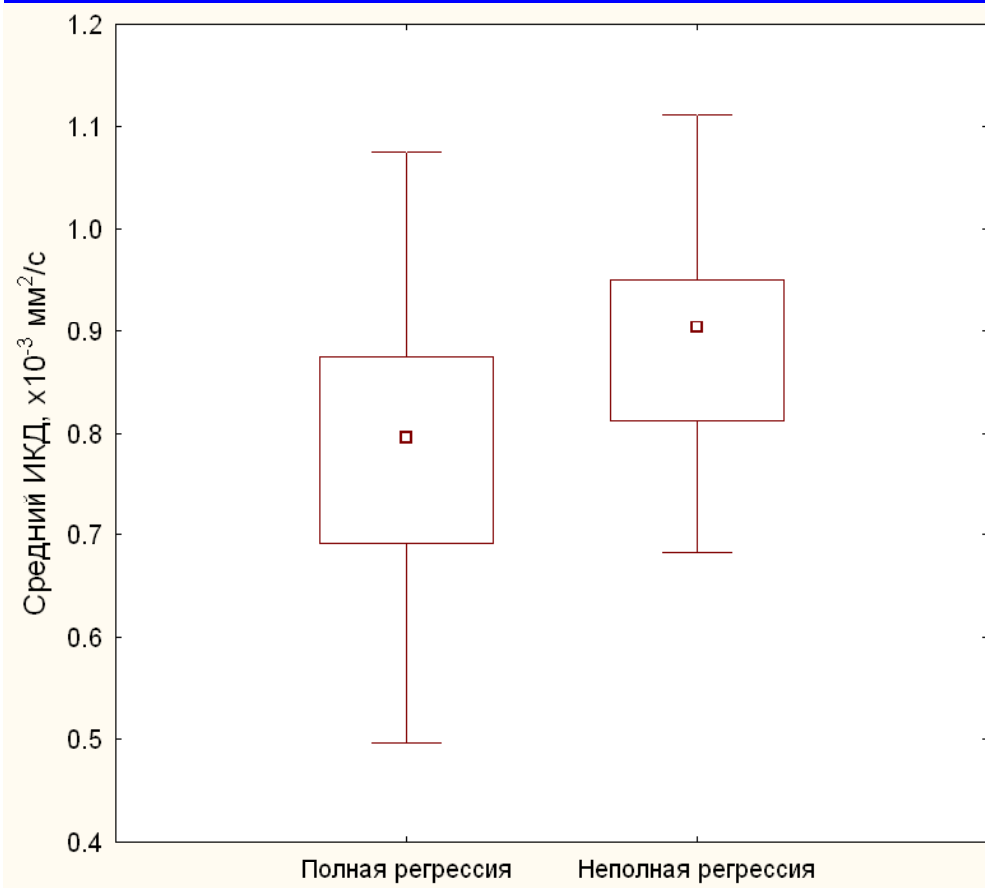
Пациентка М., 42 года. РШМ, T2b



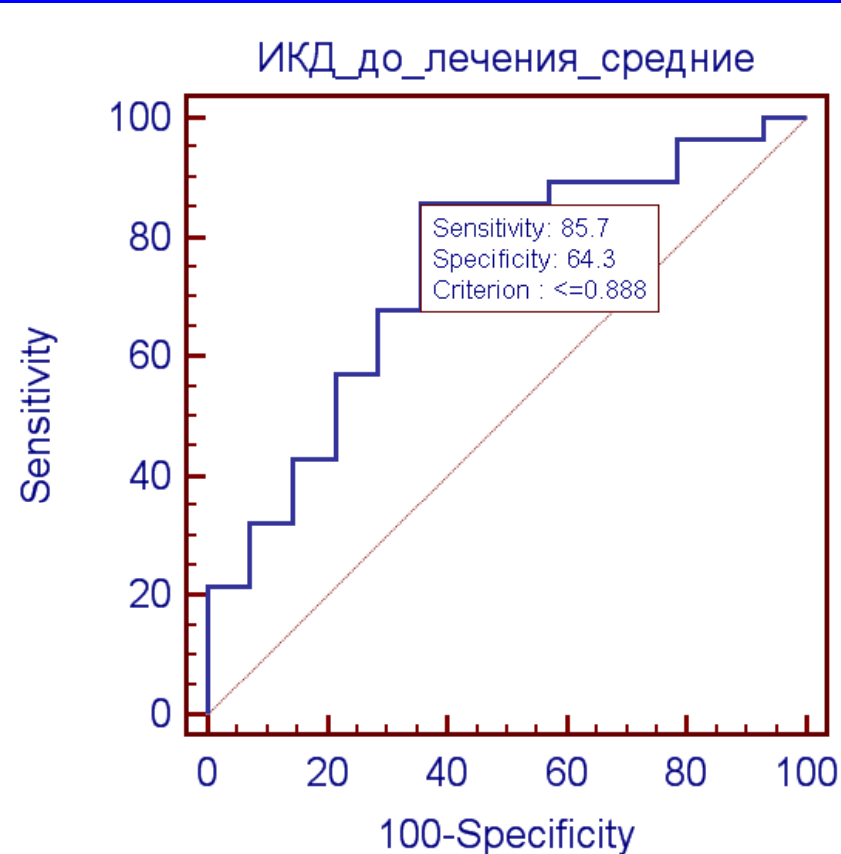
После курсов НАХТ (включая ХЭМА) **полная регрессия опухоли** – подтверждено на операции



# Прогнозирование эффективности лечения РШМ



ИКД опухоли до лечения при полной регрессии ниже, чем при неполной регрессии



Значение ИКД опухоли до начала лечения  $< 0,89$  прогнозирует полную регрессию с чувств. 86% и специфичностью 64%

## ***Выводы об использовании ДВИ при РШМ***

1. По сравнению с обычными МРТ-изображениями ДВИ значительно улучшает визуализацию опухоли и МТС в л/узлах при РШМ, позволяет выявлять опухоли меньшего размера
2. ИКД опухоли ниже, чем в нормальных тканях матки
3. ИКД в метастатических л/узлах ниже, чем в неповрежденных л/узлах
4. Возможно, ДВИ может улучшить оценку инвазии опухоли в окружающие ткани и органы
5. ДВИ помогает при оценке степени регрессии опухоли после консервативного лечения
6. ДВИ с измерением ИКД позволяет прогнозировать эффективности лечения еще до его начала



***ДВИ при лимфомах***

## *Почему ДВИ представляет особый интерес при лимфомах?*

- Лимфоузлы хорошо видны на диффузионных изображениях – имеют повышенный сигнал
- Лимфома – системное заболевание с поражением лимфоузлов на разных уровнях, а также экстранодальных органов, что требует обследования всего тела
- Традиционно используемая для стадирования и оценки эффективности лечения лимфом КТ дает высокую дозу рентгеновского облучения
- ДВИ – нет облучения, не требуется в/в введение контрастного вещества
- МРТ и ДВИ выявляют поражения в костях лучше, чем КТ
- Метод ДВИ работает на молекулярном уровне (подобно ПЭТ)
- ДВИ в инвертированной шкале визуально подобны ПЭТ
- ДВИ дешевле чем ПЭТ

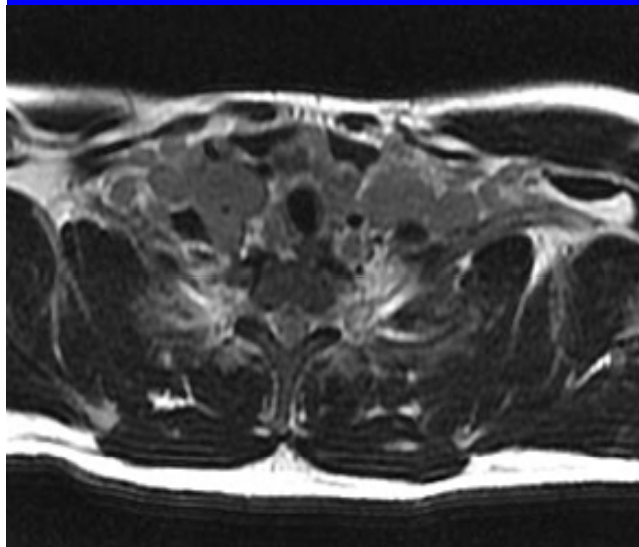
Пациент Т., 28 лет. **ЛГМ**

**МРТ всего тела с ДВИ.** Длительность исследования – 35-40 мин.

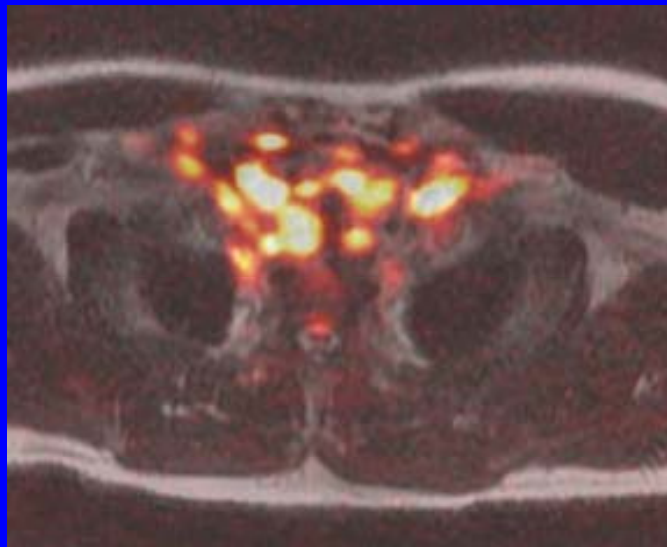


Тот же пациент

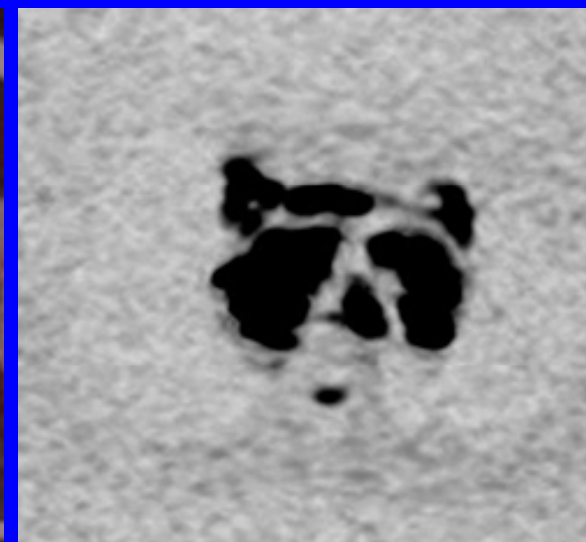
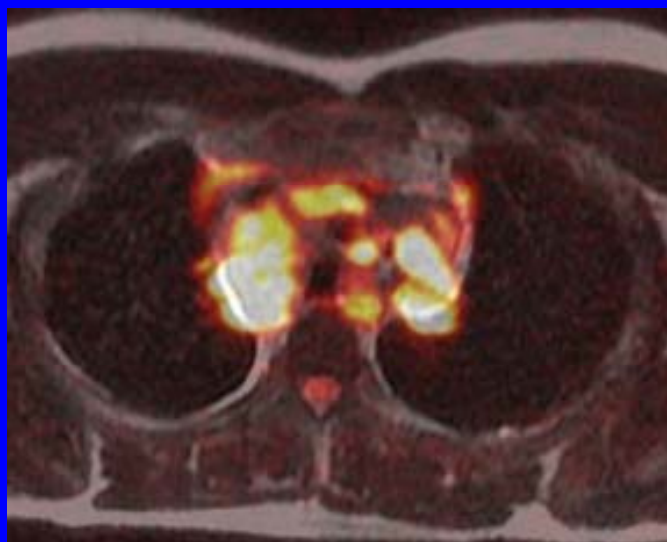
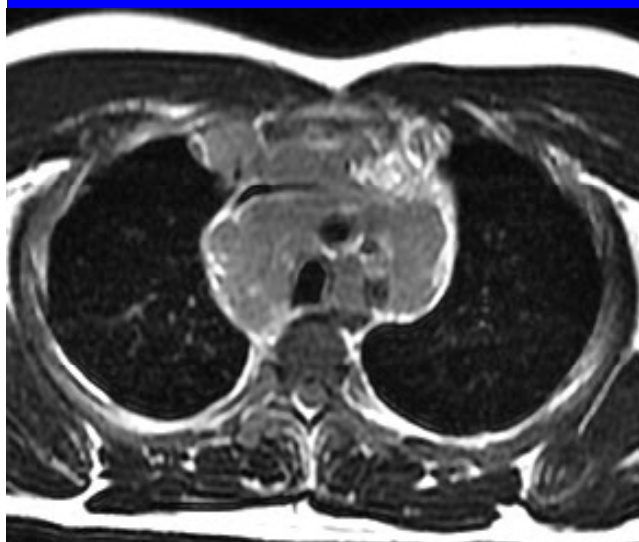
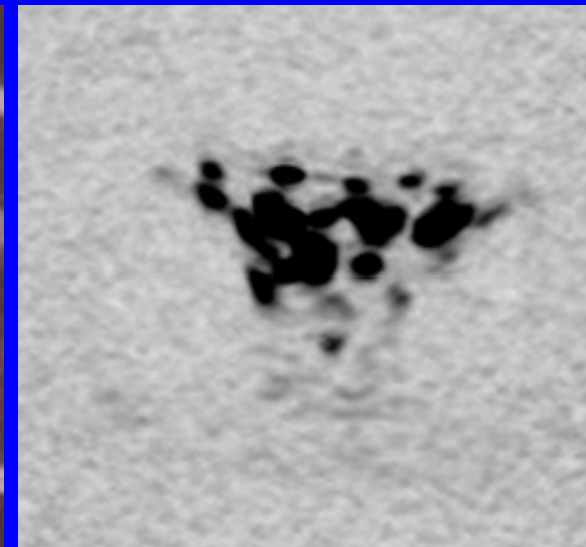
Т2-ВИ



Слияние Т2-ВИ с ДВИ



Инвертированные ДВИ  
(ПЭТ-подобные)





Тот же пациент

ДВИ



Инвертированные ДВИ  
(ПЭТ-подобные)



## ***НИР 02.16, 2013-2017 гг.***

**«Разработать и внедрить метод определения распространённости опухолевого процесса, прогнозирования и контроля эффективности лечения злокачественных лимфом на основе использования диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии»** (программа «Новые технологии диагностики и лечения», подпрограмма «Онкология»)

Руководители: д.м.н., профессор Жаврид Э.А., к.м.н. Карман А.В.

Ответственный исполнитель: к.м.н., доцент Хоружик С.А.

## *Цель исследования*

Повысить точность определения **распространённости опухолевого процесса**, разработать метод **раннего прогнозирования и контроля эффективности лечения** злокачественных лимфом на основе использования **диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии (ДВИ)**

# *Гипотезы*

- 1) МРТ всего тела с ДВИ у пациентов со злокачественными лимфомами **выявляет не меньше поражений, чем УЗИ и КТ**, в результате чего может измениться стадия заболевания и программа лечения
- 2) **Ранее (после первого и/или второго курса ХТ) МРТ с ДВИ и расчетом ИКД позволяет прогнозировать опухолевый ответ в конце лечения**
- 3) МРТ с ДВИ и расчетом ИКД у пациентов со злокачественными лимфомами позволяет **дифференцировать остаточные опухоли от неопухолевых уплотнений**



***Спасибо за внимание***

