



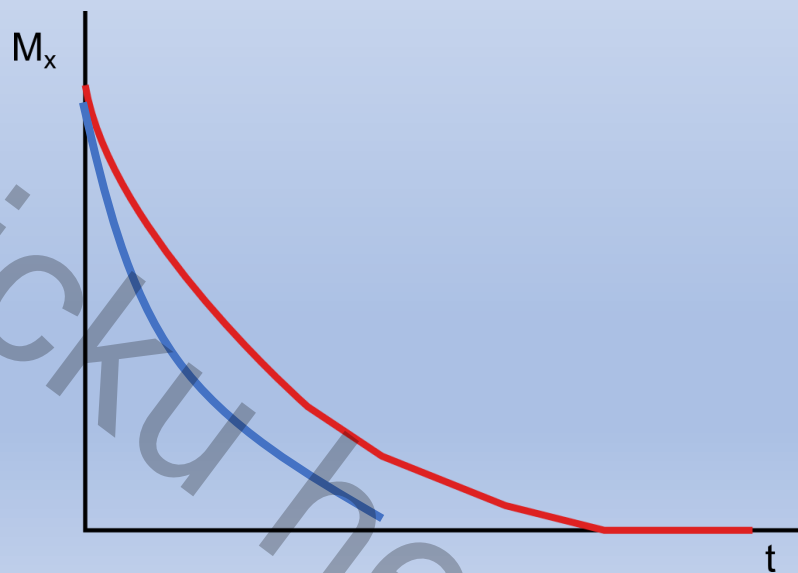
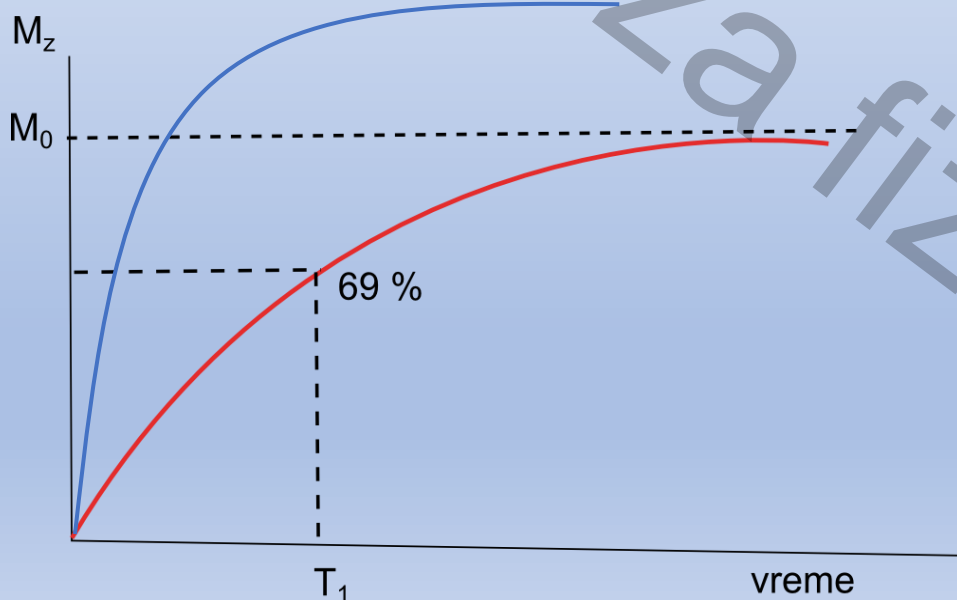
**KONTRASTNI AGENSI U  
MRI**

# Контраст у МРИ је добар али...

- МРИ је веома сензитивна метода за детекцију патологија, али не и специфична – више патологија се приказивати на исти начин на МРИ сликама.
- Контрастни агенси наглашавају контраст између ткива и уз то доводе до повећања односа сигнал шум.

# На шта делују контрастна средства

$$S = N_p \left( 1 - e^{-\frac{TR}{T_1}} \right) e^{-\frac{TE}{T_2}}$$



# ПАРАМЕТРИ КОЈИ КАРАКТЕРИШУ КОНТРАСТНИ АГЕНС

- Брзина релаксације
- Брзина релаксације зависи од концентрације употребљеног контрастног средства

$$R_1 = \frac{1}{T_1} \qquad R_2 = \frac{1}{T_2}$$

- Константе пропорционалности називају се протонске релаксивности
- Да ли је неко контрастно средство доминантно смањује  $T_1$  или  $T_2$  време релаксације одређује однос  $r_1/r_2$

$$\frac{1}{T_{1,c}} = \frac{1}{T_{1,0}} + r_1[Gd] \qquad \frac{1}{T_{2,c}} = \frac{1}{T_{2,0}} + r_2[Gd]$$

# КОНТРАСТНА СРЕДСТВА

- Парамагнетни јони (Fe, Gd, Mn, Dy)
- Суперпарамагнетне честице (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)
- По начину деловања:
- T1 контрастна средства (најчешће комплекси гадолинијума)
- T2/T2\* контрастна средства (суперпарамагнетне честице)

# Механизам дејства парамагнетних јона на релаксациона времена

- Укупна магнетизација код парамагнетних јона је далеко већа од нуклеарне магнетизације протона.
- Јони парамагнетика преузимају велики део магнетизације од протона, тако да се они знатно брже враћају у равнотежно стање- т.ј. скраћују им се релаксациона времена
- Парамагнетни јони су T1 контрастни агенси. Дејство на T2 се слабо испољава, осим при великим концентрацијама

# КОНТРАСТНА СРЕДСТВА НА БАЗИ ГАДОЛИНИЈУМА

- Гадолинијум ( $Gd^{3+}$ ) је јак парамагнетик (7 неспарених електрона) али...
- због своје токсичности се не примењује као слободан јон.
- Комплексирање са различитим органским једињењима драстично умањује његову токсичност.

- По интравенозном администрирању већина контрастних средстава базираних на гадолинијуму се брзо (у року од 10 min) распоређује у екстраваскуларном простору
- Изузетак - možданом паренхиму, где је препрека за његову дистрибуцију крвно- možдана баријера
- Неки контрастни агенси се везују за албумин у крви , што продужава јихово време ретенције у организму (Multihance, Vazovist)



- Више комерцијално доступних комплекса гадолинијума који се разликују:

- По структури (линеарни, циклични)
- Јонски, неутрални
- По стабилности комплекса

Molecule name	Gadopentetate dimeglumine Gd-DTPA	Gadoterate meglumine Gd-DOTA	Gadodiamide Gd-DTPA-BMA	Gadoteridol Gd-HP-DO3A	Gadobenate dimeglumine Gd-BOPTA	Gadobutrol Gd-BT-DO3A	Gadoverse-tamide Gd-DTPA-BMEA
Year of Introduction	1988	1989	1993	1994	1998	1998	2000
Molecular Structure	Linear, ionic	Cyclic, ionic	Linear, non-ionic	Cyclic, non-ionic	Linear, ionic	Cyclic, non-ionic	Linear, non-ionic
Thermodynamic Stability (log $K_{eq}$ )	22.1	25.8	16.9	23.8	22.6	21.8	16.6
Conditional Stability Constant at PH 7.4	18.1	18.8	14.9	17.1	18.4		15.0
Osmolality (Osm/kg)	1.96	1.35	0.65	0.63	1.97	1.6	1.11
Viscosity (mPas at 37°C)	2.9	2.0	1.4	1.3	5.3	4.96	2.0
T1 relaxivity (L/mmol <sup>-1</sup> )	4.9	4.3	4.8	4.6	9.7	5.6	
Metal chelate (mg/ml)	469	278.3	287	279.3	334	604.7	330.9
Excess chelate (mg/ml)	0.4	-	12	0.23	-		28.4

**Magnevist**

**Dotarem**

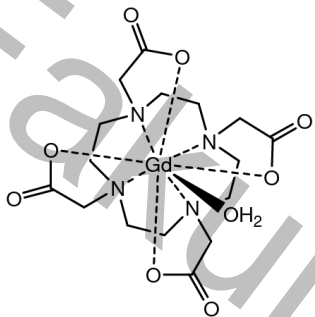
**Omniscan**

**Prohance**

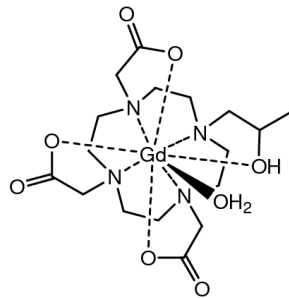
**Multihance**

**Gadovist**

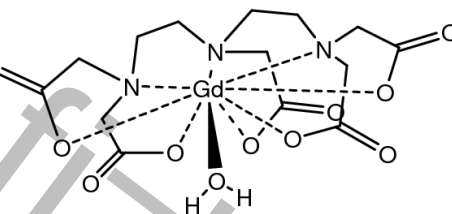
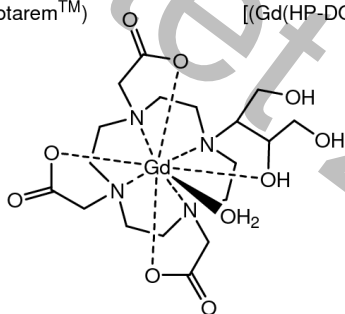
**Optimark**



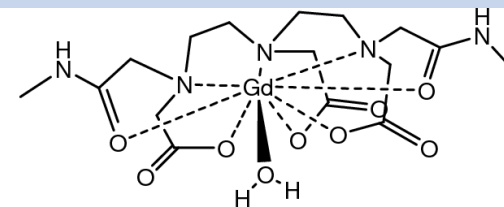
$[\text{Gd}(\text{DOTA})(\text{H}_2\text{O})]^-$  (Dotarem™)



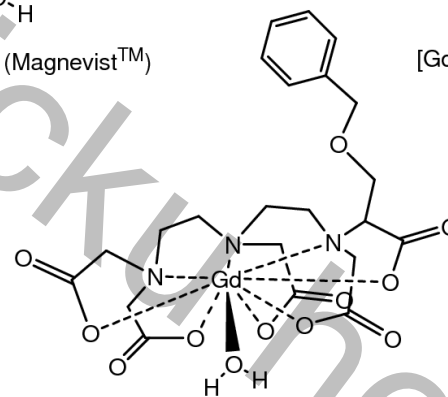
$[\text{Gd}(\text{HP-DO3A})(\text{H}_2\text{O})]$  (Prohance™)



$[\text{Gd}(\text{DTPA})(\text{H}_2\text{O})]^{2-}$  (Magnevist™)

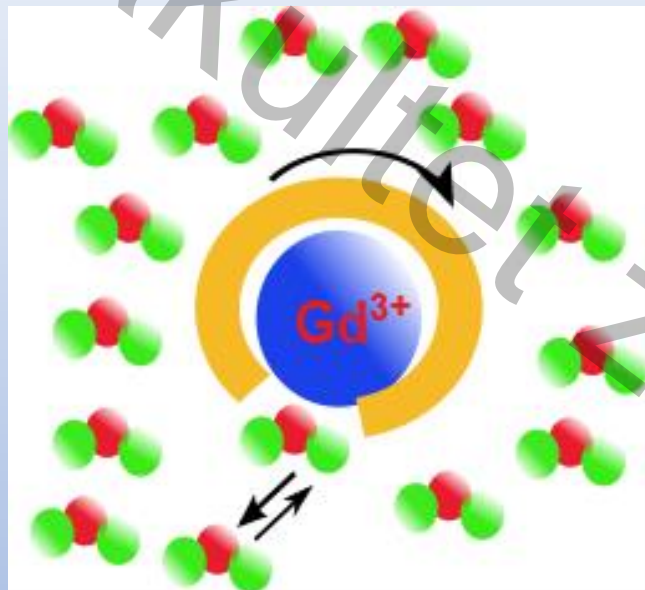


$[\text{Gd}(\text{DTPA-BMA})(\text{H}_2\text{O})]$  (Omniscan™)



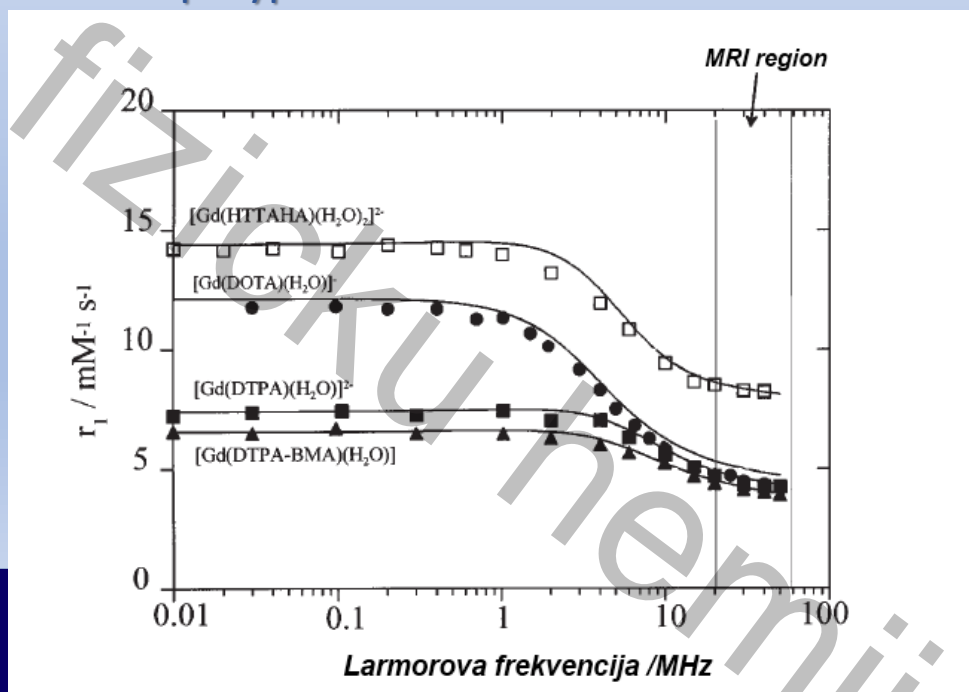
$[\text{Gd}(\text{BOPTA})(\text{H}_2\text{O})]^{2-}$  (MultiHance™)

# Mehanizam dejstva Gd-kompleksa



$r_1$  гадолинијумског контрастног средства зависи од више фактора:

- Растојања између комплекса и молекула воде
- Брзине измене молекула воде
- Брзине (фреквенције ротације) Gd комплекса
- Јачине магнетног поља
- Температуре



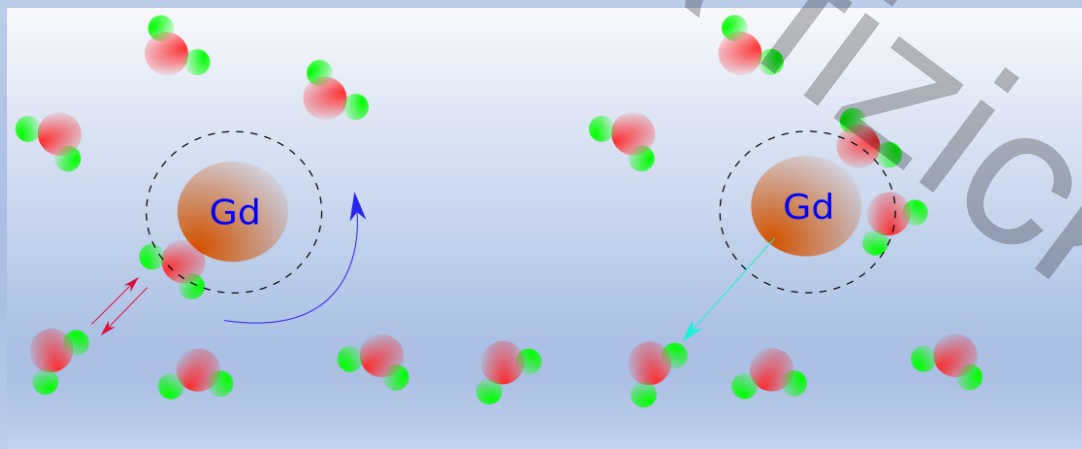
# ВИШЕ О МЕХАНИЗМУ ДЕЈСТВА ПАРАМАГНЕТНИХ КОНТРАСТНИХ АГЕНАСА БАЗИРАНИХ НА ГАДОЛИНИЈУМУ

- Три доприноса релаксацији (дипол-дипол интеракција)
  - Из унутрашње (координационе сфере)
  - Из спољашње сфере
  - (Из секундарне сфере)

Према Саломон-Блумберген теорији

$$R_1^p = R_1^{us} + R_1^{sp}$$

$$R_1^{us} = f q \frac{1}{T_{1m} + t_m}$$



$f$  – моларна фракција контрастног агенса  
 $q$  – број координисаних молекула воде  
 $T_{1m} - T_1$  време релаксације воде у координационој сфери  
 $t$  – време задржавања молекула воде у координационој сфери

- На  $T_{1m}$  највише утичу корелациона времена за електроне и протоне

$$\frac{1}{\tau_{c1}} = \frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{t_M} + \frac{1}{\tau_{s1}}$$

$\tau_R$ -ротационо корелационо време Gd-комплекса

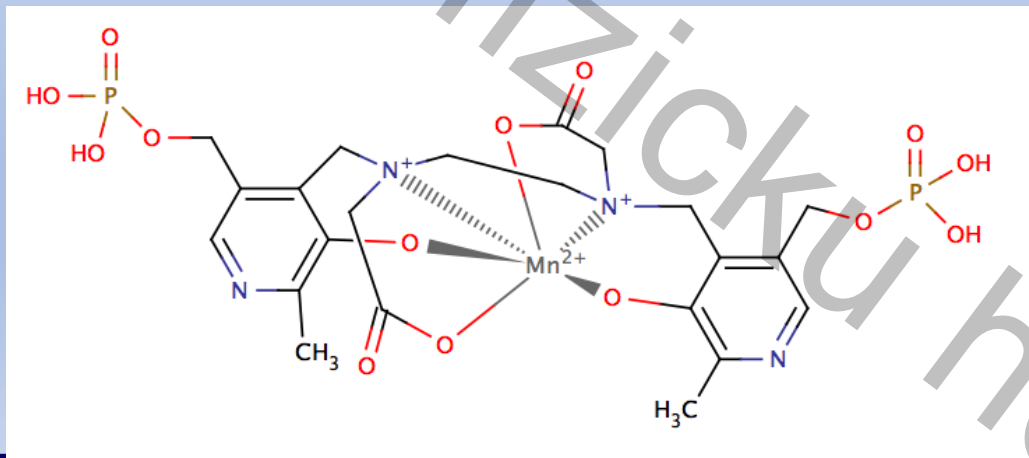
$\tau_{s1}$ -лонгитудинално релаксационо време за електроне који учествују у интеракцији

## Нусефекти и контраиндикације код примене контрастних средстава на бази гадолинијума

- Нусефекти (0.5 % случајева –осип, акутна бубрежна инсуфицијенција итд.)
- Само два регистрована анафилактичка шока са једним смртним исходом (у свету за период 1988-2009)
- Опрез при примени код пацијената са вредностима серум креатинина  $>135 \mu\text{mol}^{-1}$

# Mn контрастни агенси

- Јон мангана ( $Mn^{2+}$ ) је јак парамагнетик (5 неспарених електрона) – T1 агенс
- Најчешће се применује са детекцију патологија у јетри, нормално ткиво усваја контраст, патологије не
- Најчешће се примењују  $MnCl_2$  и тринатријум мангафодипир



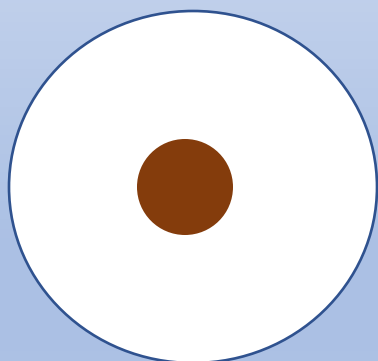
# СУПЕРПАРАМАГНЕТНИ КОНТРАСТНИ АГЕНСИ

- Суперпарамагнетни гвожеђе оксид (SPIO) T2/T2\* контраст
- Базирани на суперпарамагнетним честицама са нанетим омотачем од декстрана или карбодекстрана
- Усвајају их ћелије које поседују ретикуло ендотелни систем, као што су Купферове ћелије у јетри. Већина патологија у јетри не усваја ове контрасте
- Користе се за детекцију патологија у јетри и слезини (интравенска администрација) или као орални контрастни агенс (гастроинтестинални тракт)

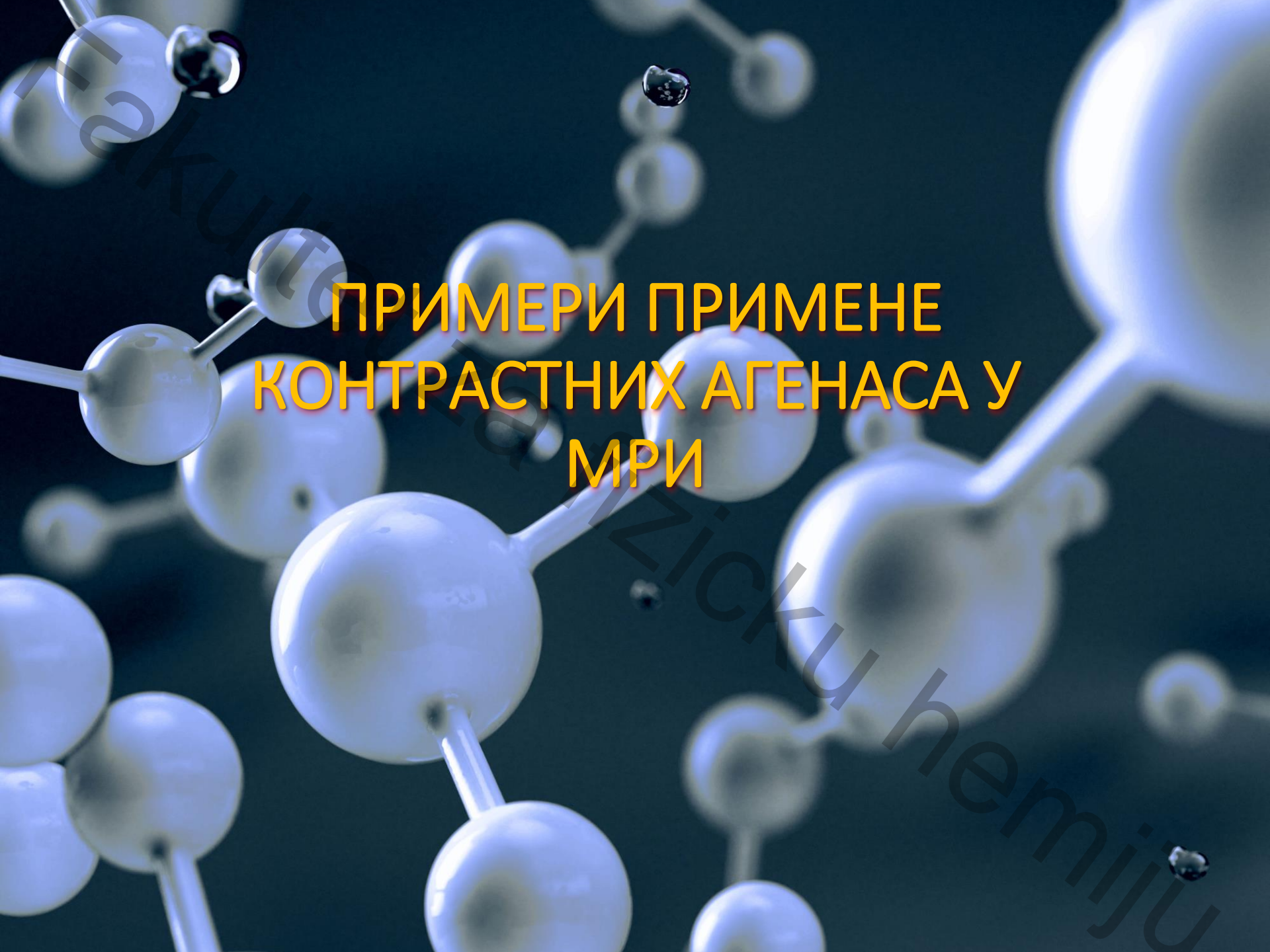


# МЕХАНИЗАМ ДЕЈСТВА SPIO

- SPIO јако апсорбују RF тако да протони из суседства не могу да буду ексцитовани
- Други ефекат је изазивање губитка фазне кохеренције код суседних протона

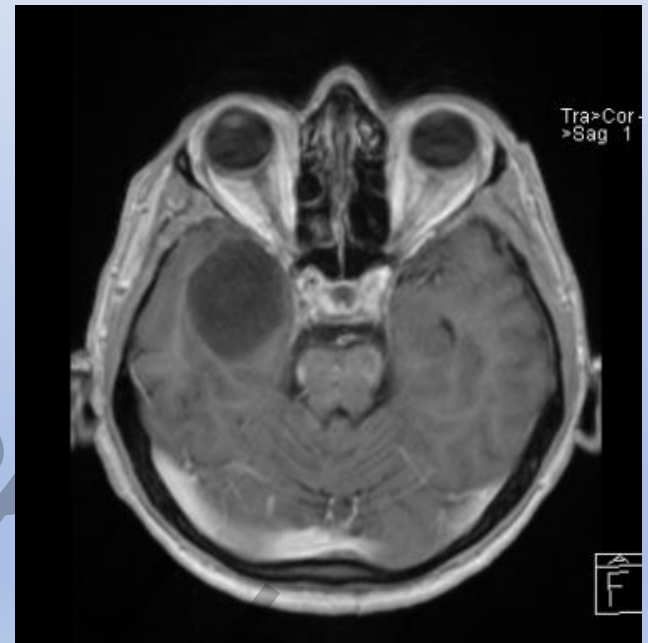
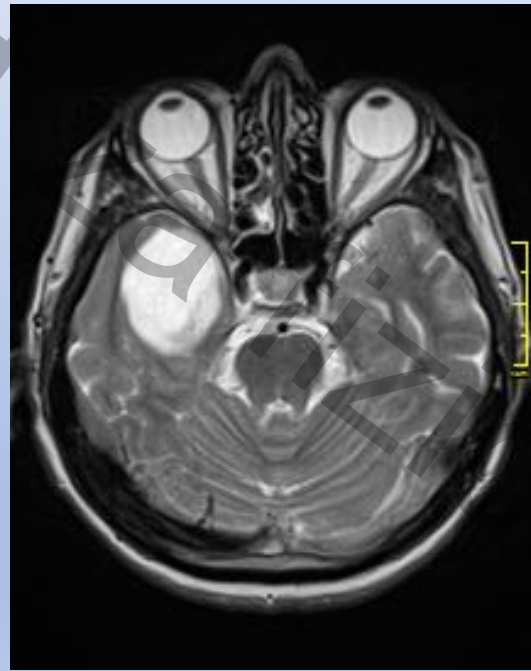
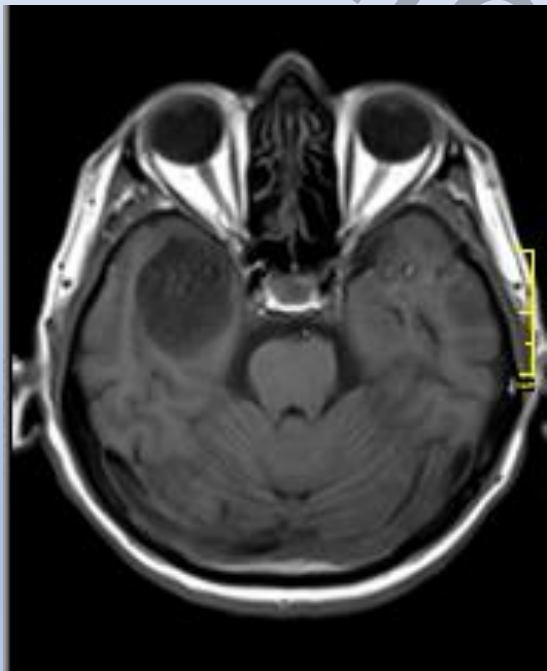


Област захваћена ефектом је много већа од димензија честице

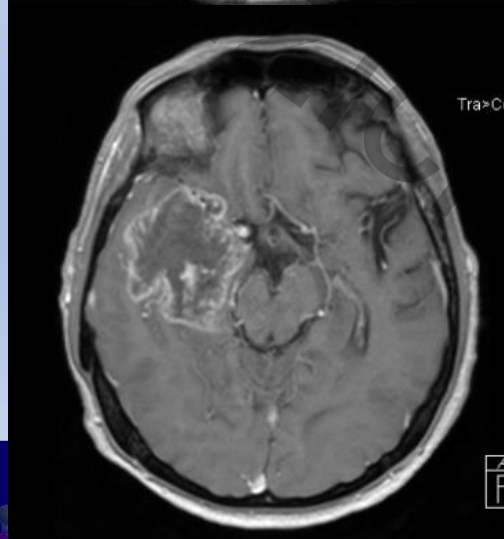
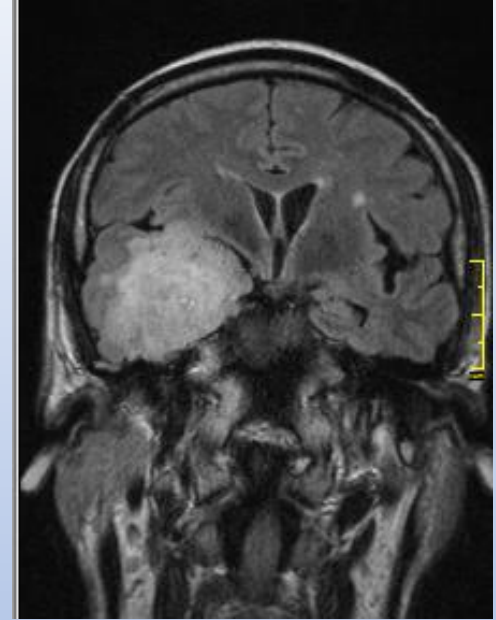
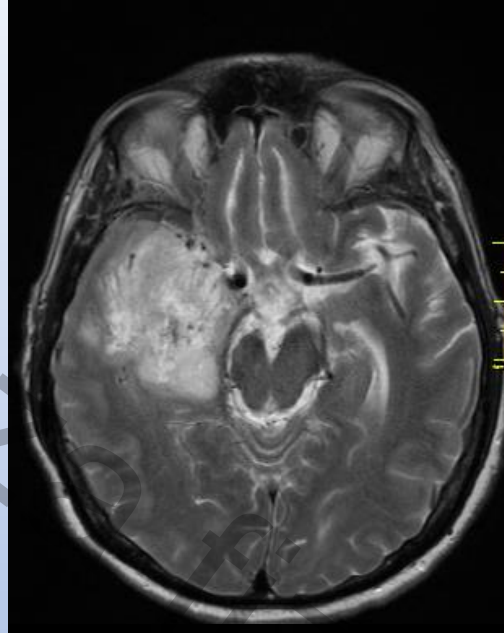
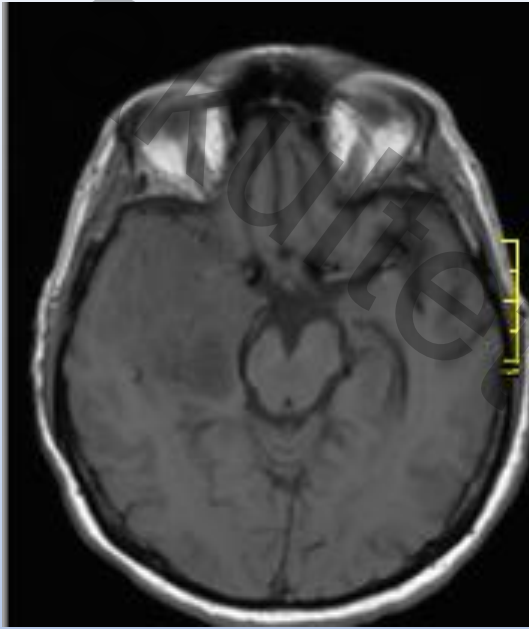


ПРИМЕРИ ПРИМЕНЕ  
КОНТРАСТНИХ АГЕНАСА У  
МРИ

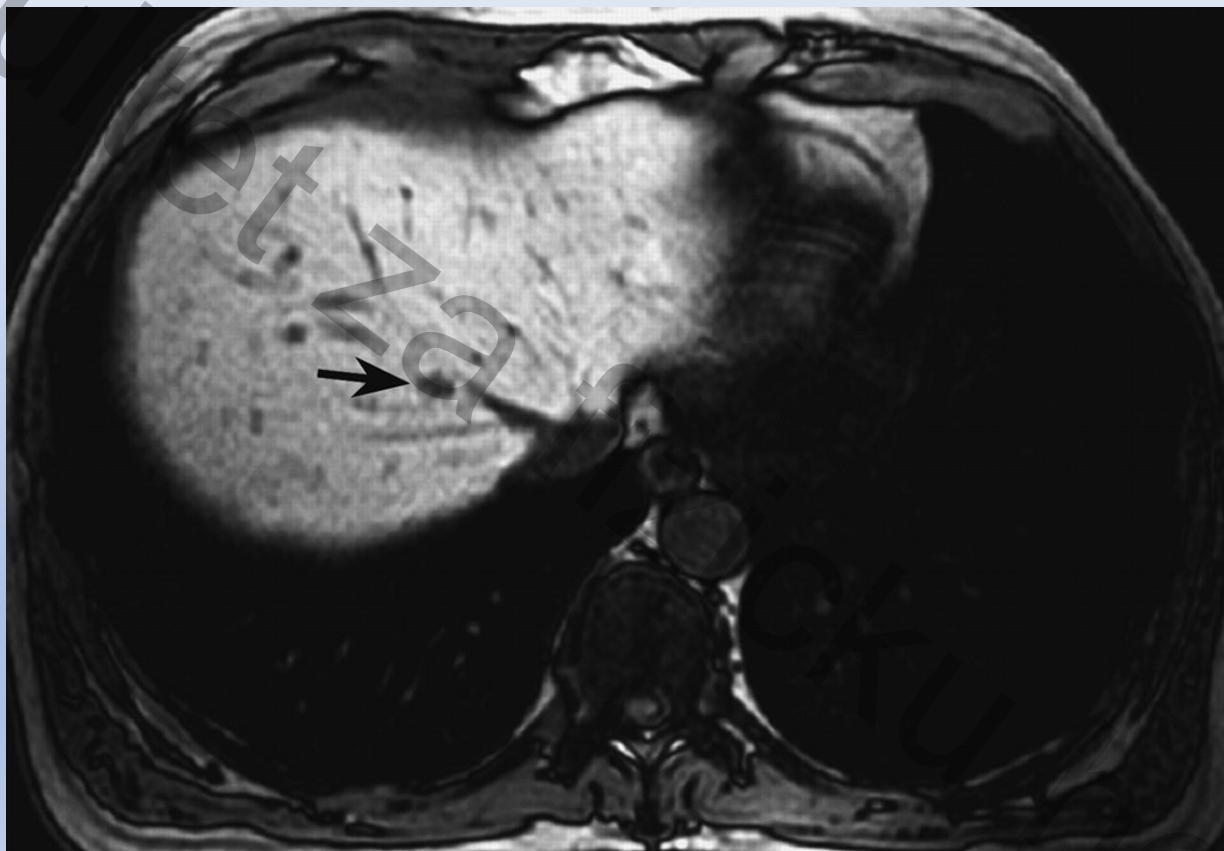
# Олигодендроглиом (Gd-DTPA)



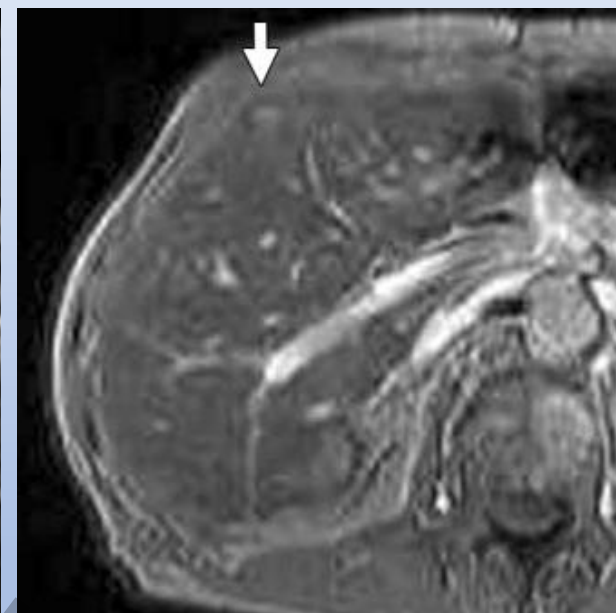
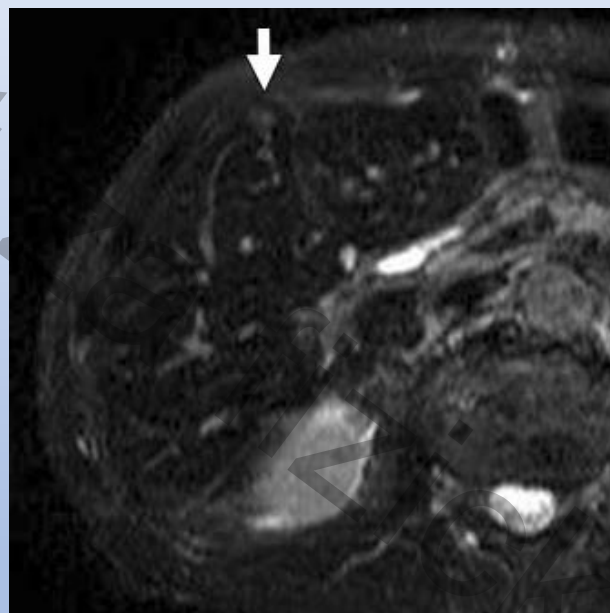
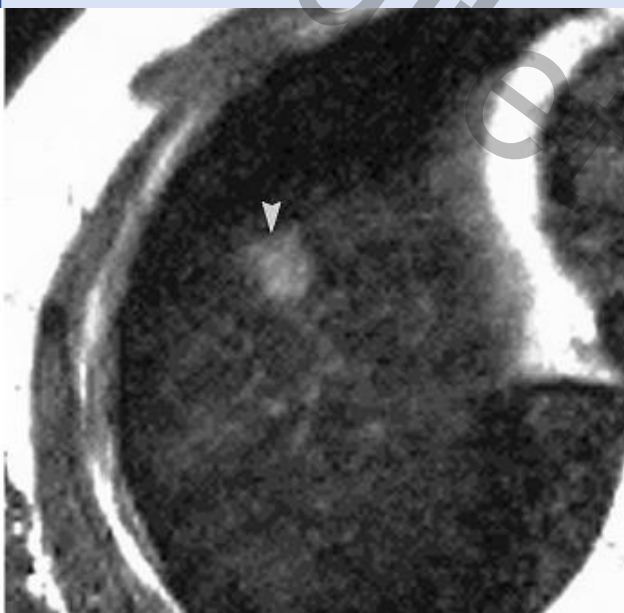
# Глиобластом мултиформе (Gd-DTPA)



# МЕТАСТАЗЕ У ЈЕТРИ-ПРИМЕНА МАНГАНФОДИПИРА



# Метастазе карцинома дебелог црева (SPIO)



# АРТЕФАКТИ У МРИ

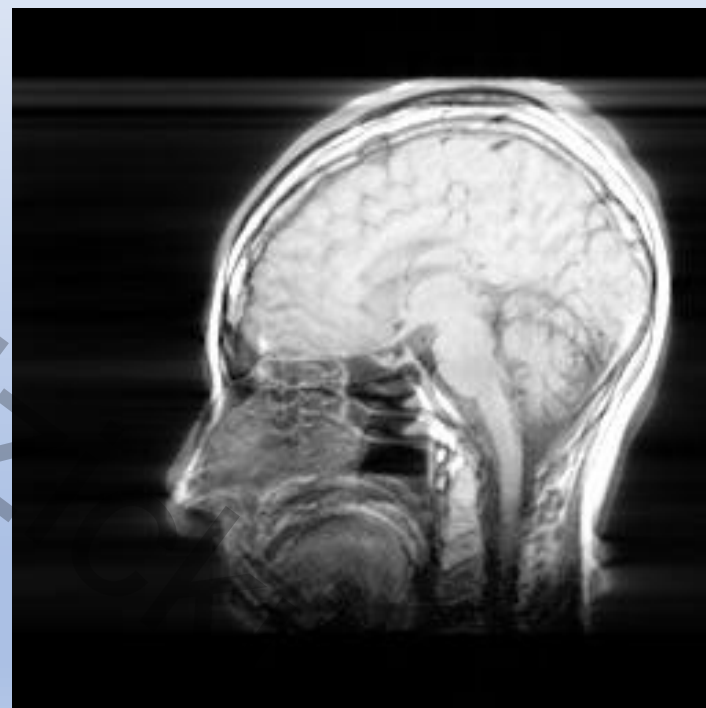
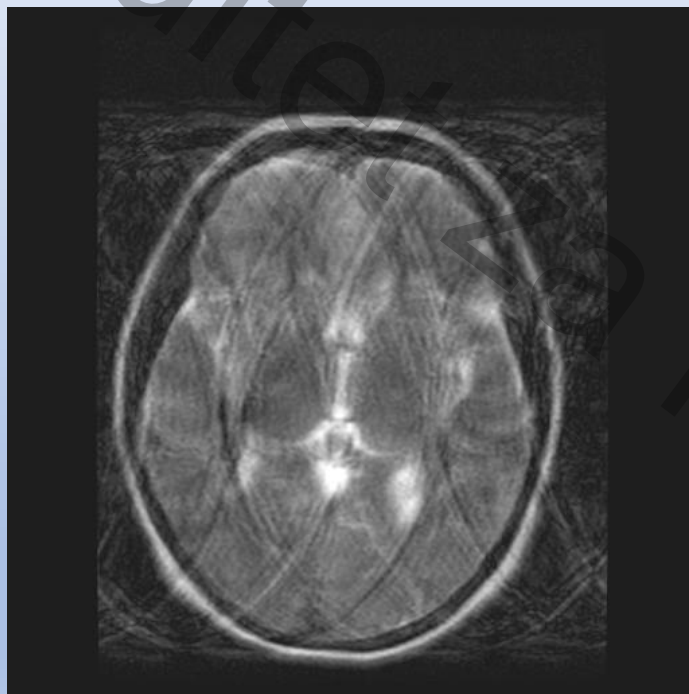
# Типови артефаката

- Артефакти померања
  - Померање пацијента
  - Физиолошко померање
    - Артефакти који потичу од дисања
    - Артефакти од пулсације крвних судова и срчаних контракција
    - In flow артефакти
- Артефакти нехомогености
  - Несавршеност опреме
  - Артефакти суцептибилности
- Артефакти који потичу из процеса дигитализације сигнала

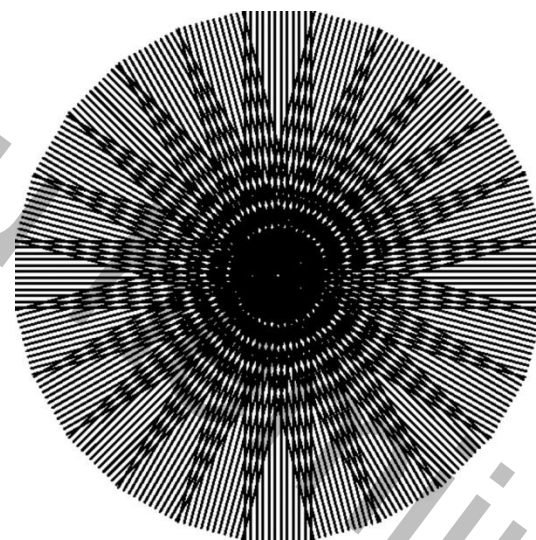
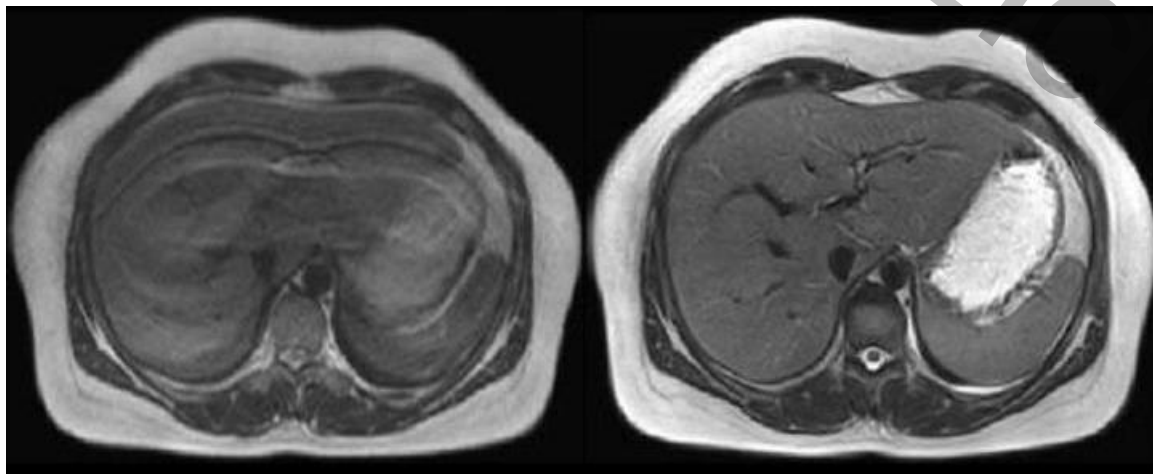
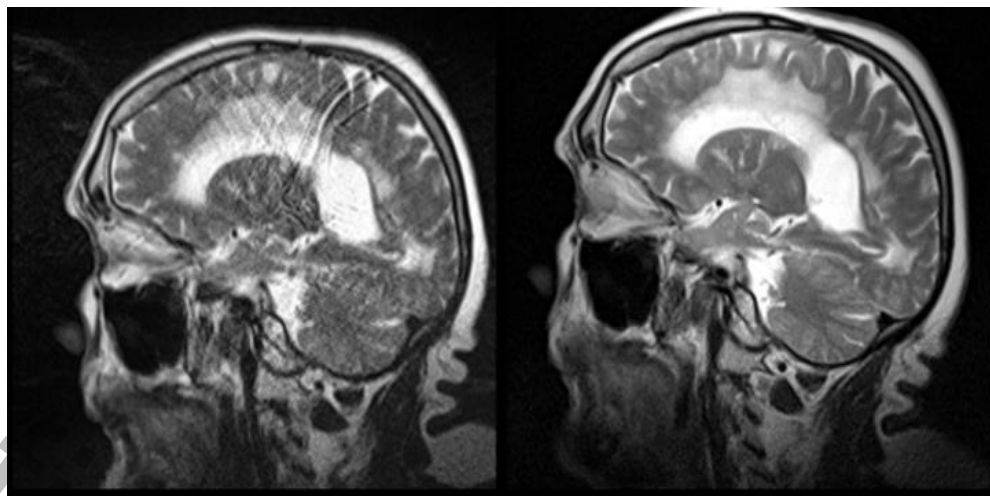
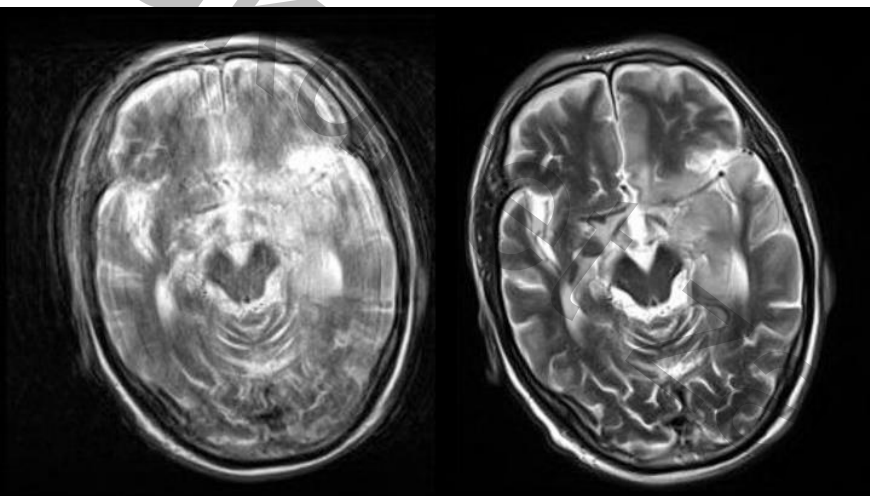


# ПОМЕРАЊЕ ПАЦИЈЕНТА

## ПОМЕРАЊЕ ПАЦИЈЕНТА



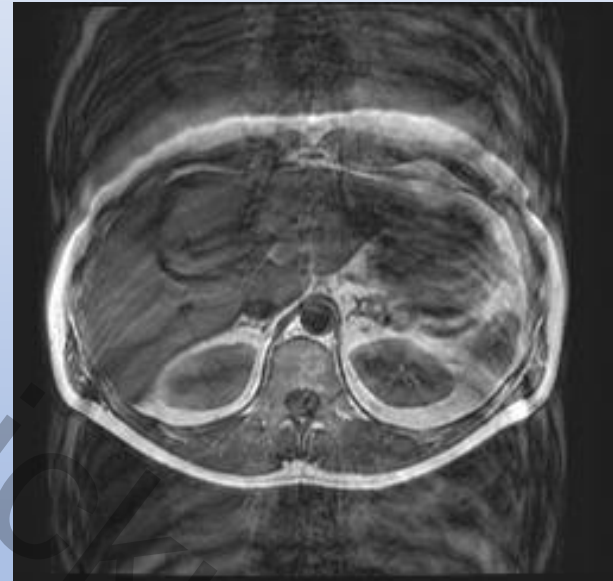
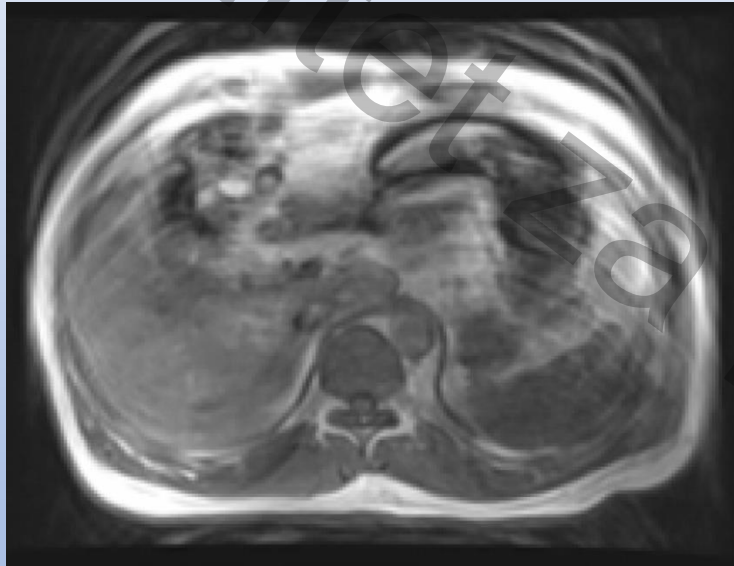
# КОРЕКЦИЈА ПОМЕРАЊА ПАЦИЈЕНТА



# Физиолошко померање—основне карактеристике

- Артефакти се запажају у правцу фазног кодирања
- Манифестују се као појава “дух” слика
- 
- Могуће их је одговарајућим процедурама умањити или отклонити

# Респираторни артефакти

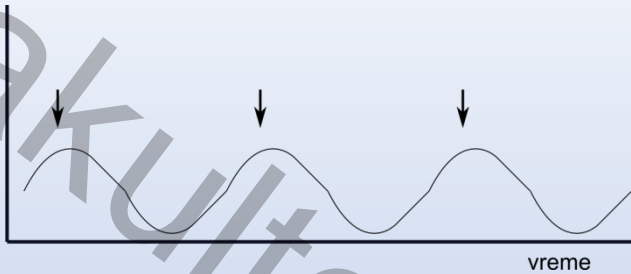


# Елиминација респираторних ефеката

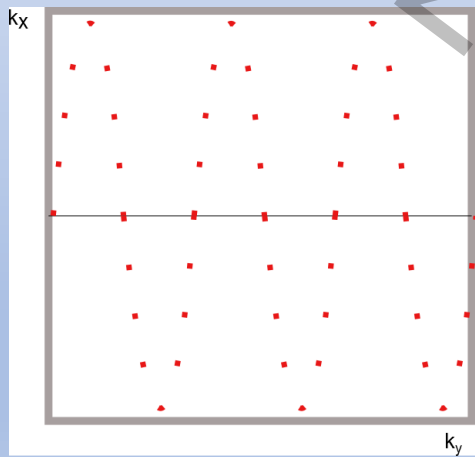
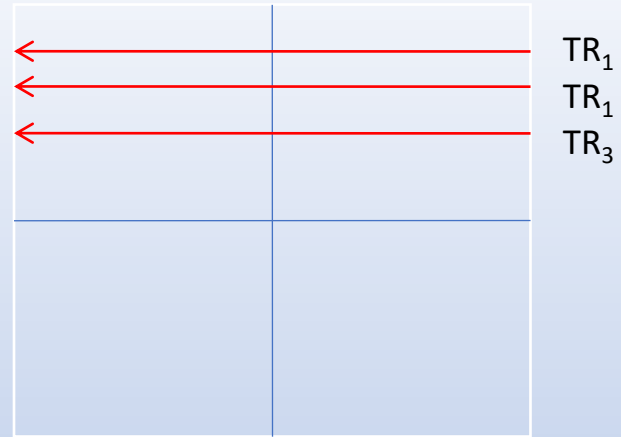
- Аквизиција у режиму задржавања даха
- Повећање броја понављања (NEX)
- Респираторни окидач
- Респираторно регулисано реорганизација аквизиције у правцу градијента кодирања фазе
- Навигатор –ехо
- Примена сатурација

# РЕОРГАНИЗАЦИЈА АКВИЗИЦИЈЕ У ПРАВЦУ ФАЗНОГ КОДИРАЊА

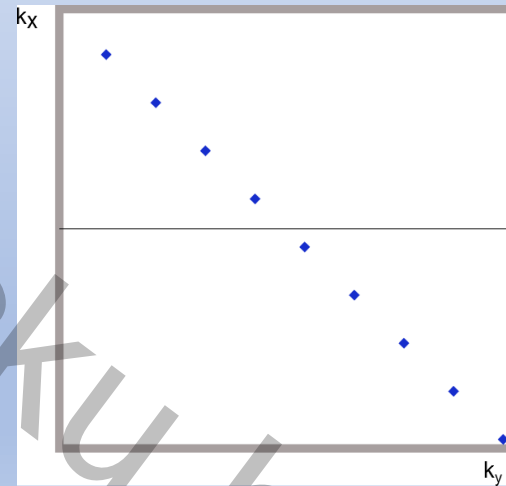




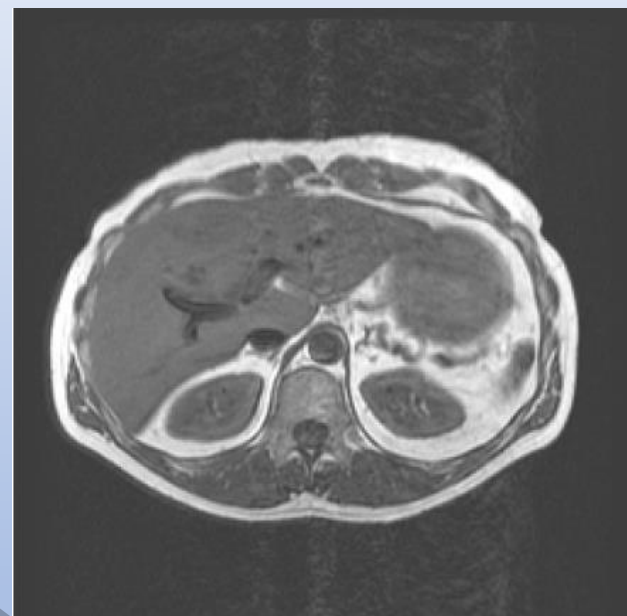
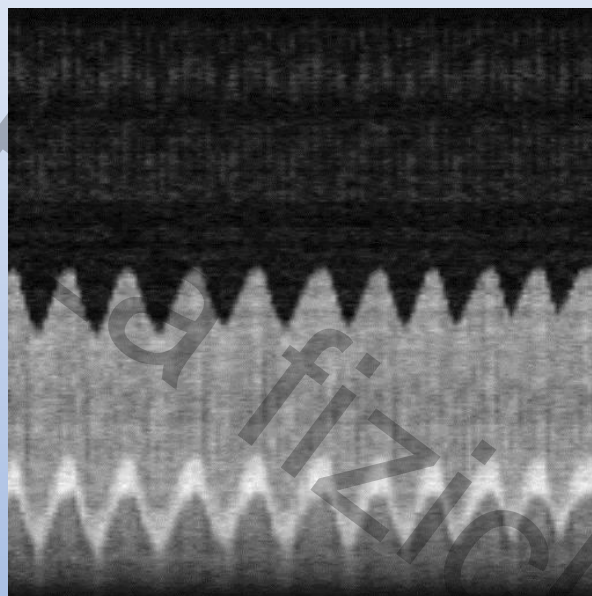
Respiratorni okidač



Respiratory  
Ordered  
Phase  
Encoding



# НАВИГАТОР EXO

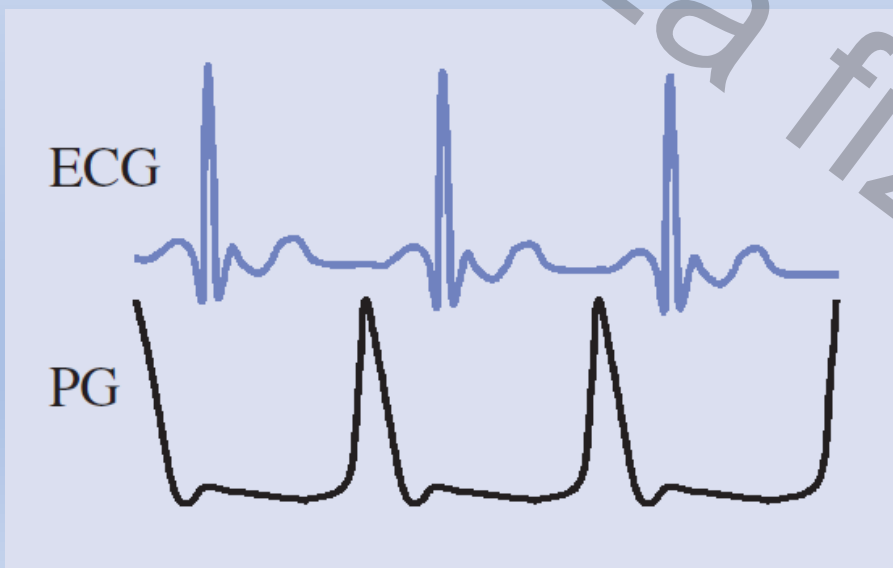
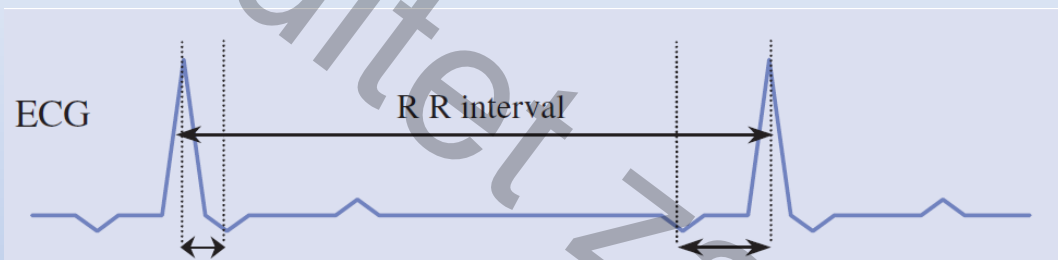




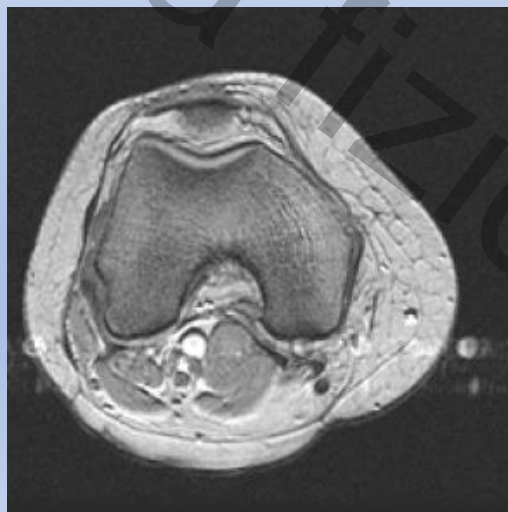
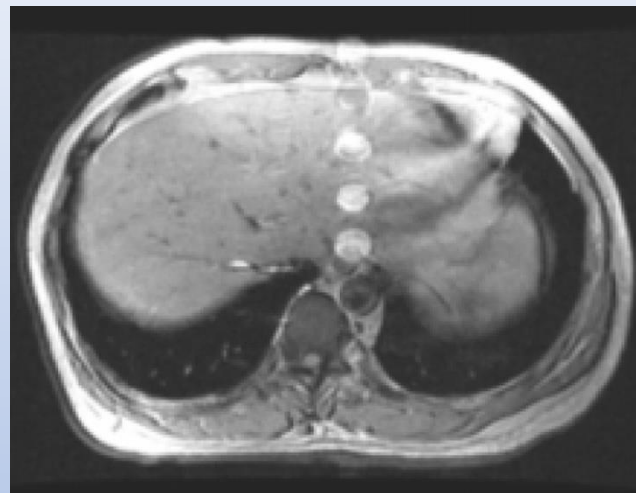
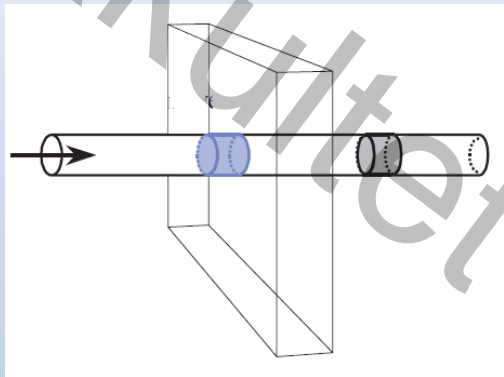
# ПРИМЕНА САТУРАЦИЈА



# КОРЕКЦИЈА АРТЕФАКАТА СРЧАНОГ РИТМА

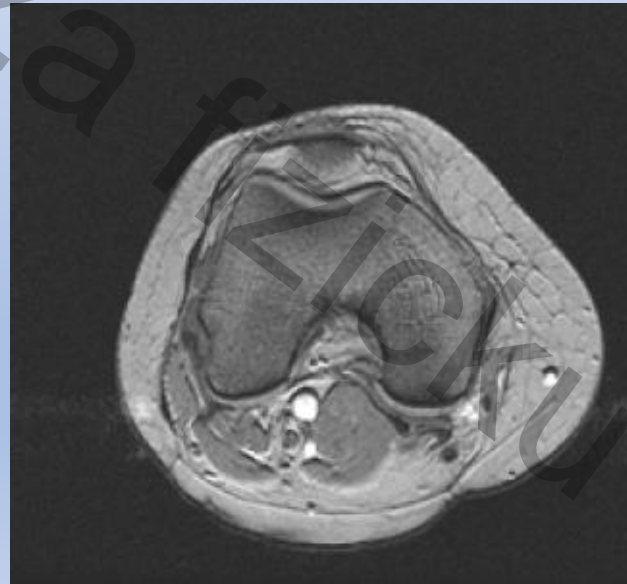


# In flow артефакти

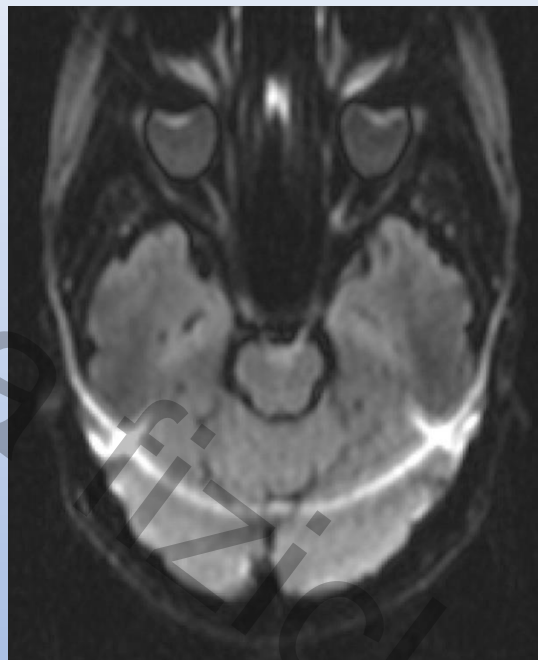
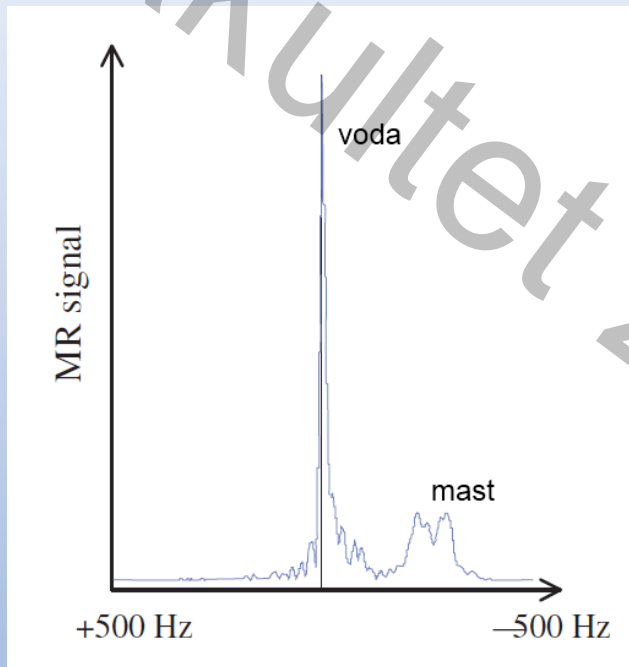


# Елиминација in flow артефаката

- Пресатурационе траке
- Компензација путем рефуксирања градијентних момената



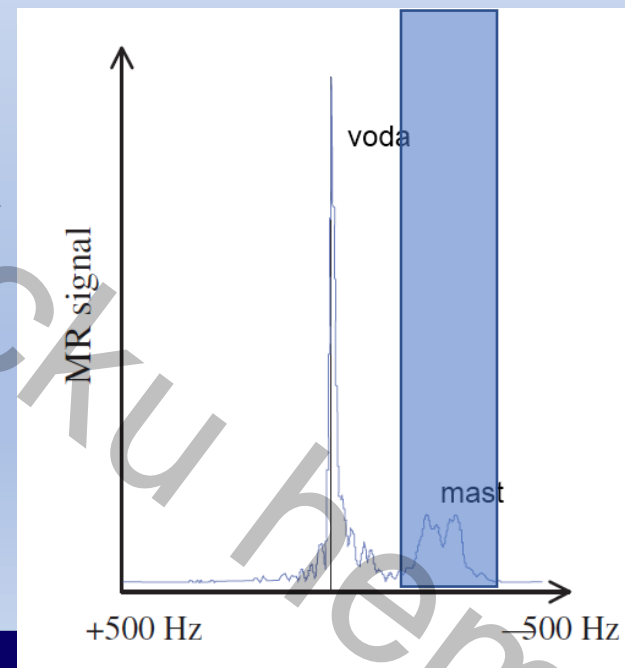
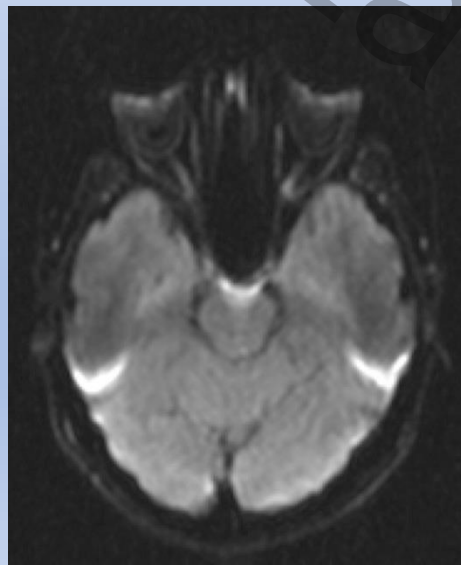
# Артефакт хемијског помераја



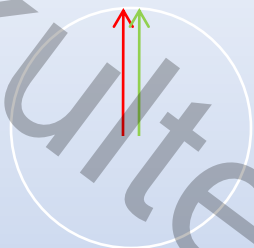
Frekvenciono kodiranje

# Елиминација артефаката хемијског помераја

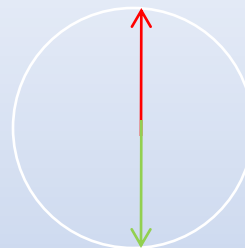
- Повећање bandwidth-а помаже, али и шум на слици расте
- Елиминација сигнала масти
  - STIR
  - SPIR



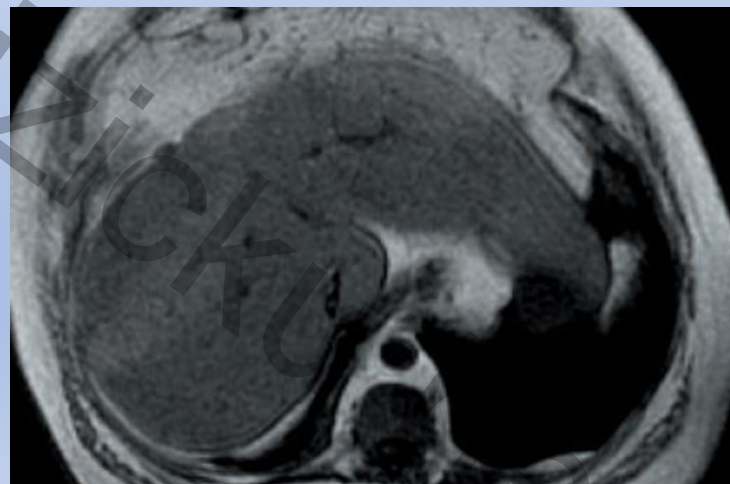
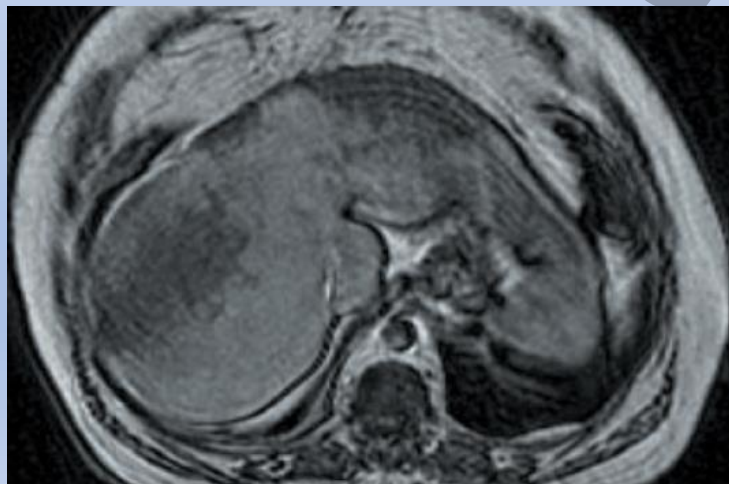
# Phase in, phase out- коришћење хемијског помераја



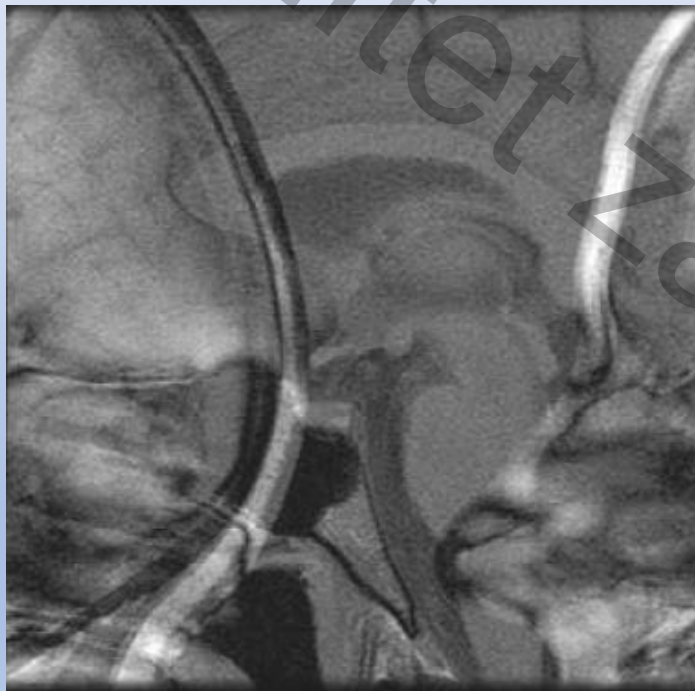
TE=4.2 ms



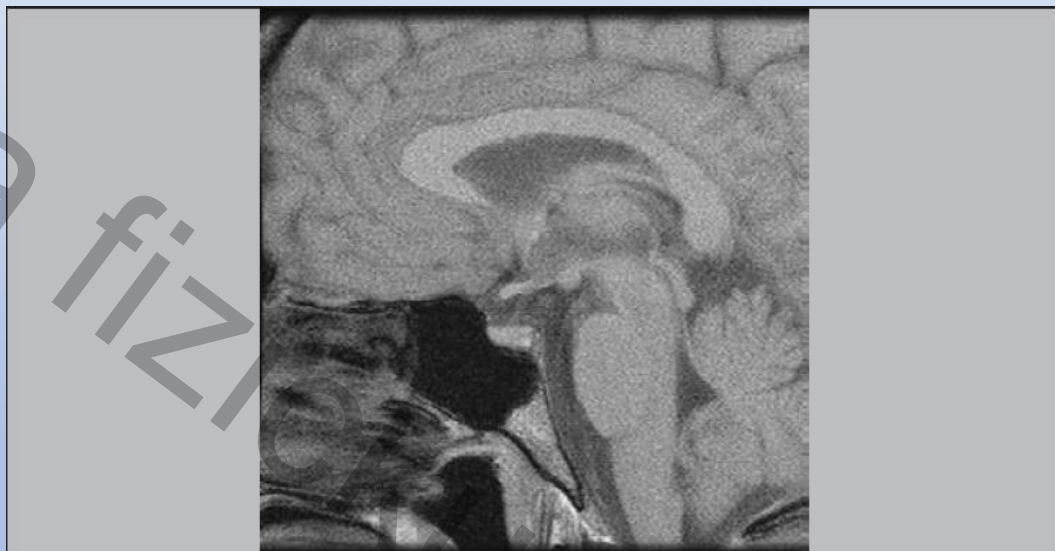
TE=2.1 ms



# Артефакт фазног умотавања (phase warp)



Неопходна ширина PE  
←→

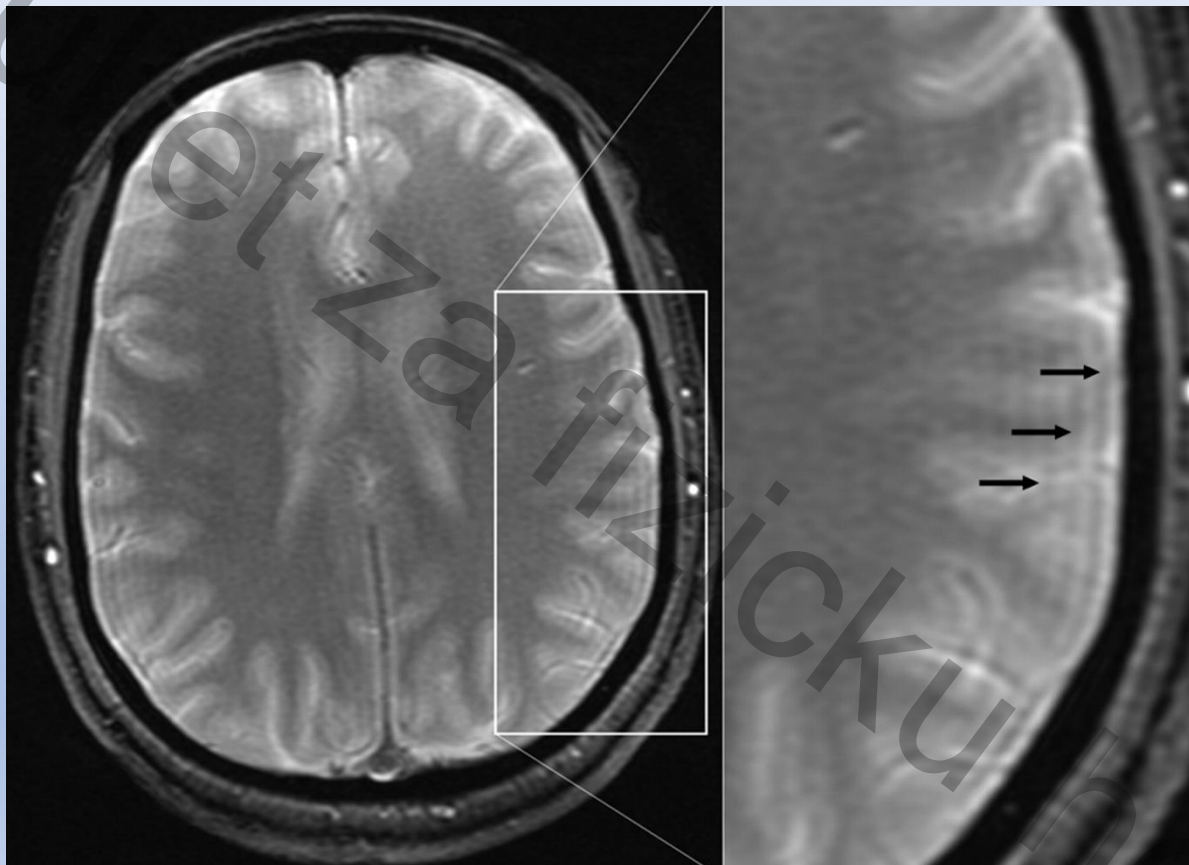


←→  
Аквизициона ширина PE

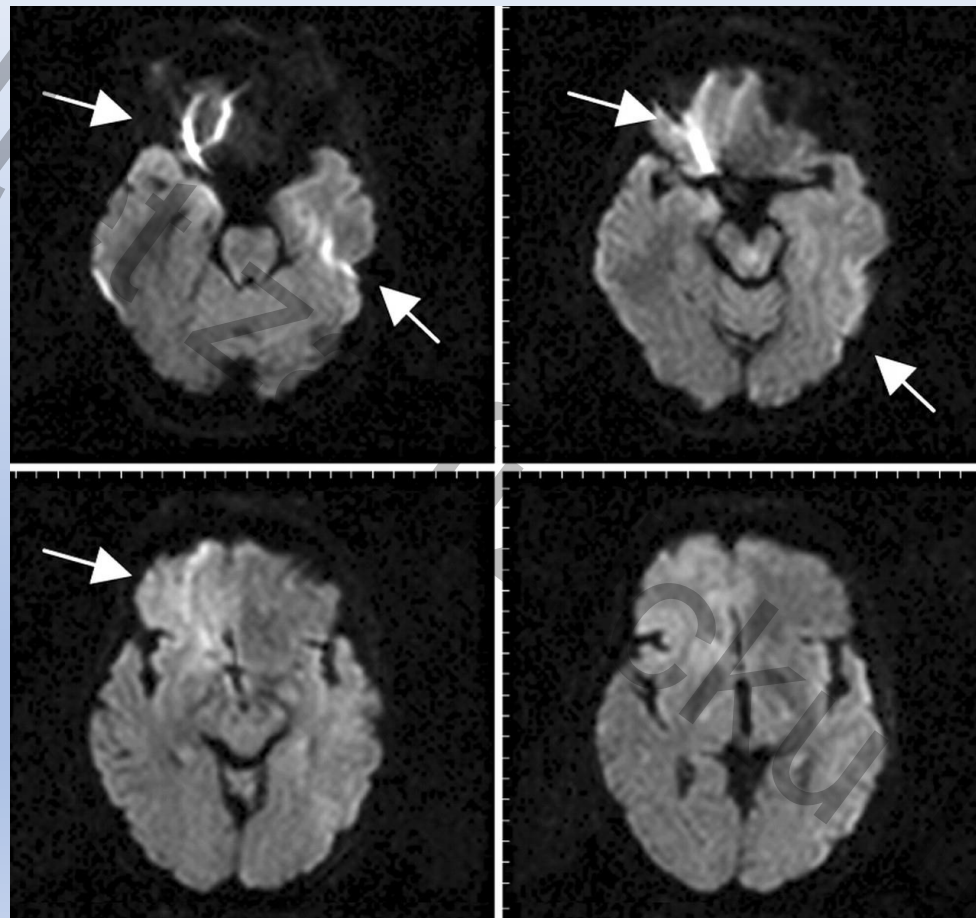


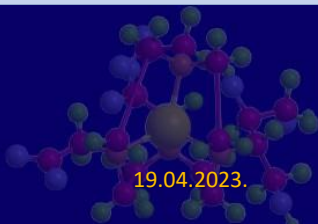
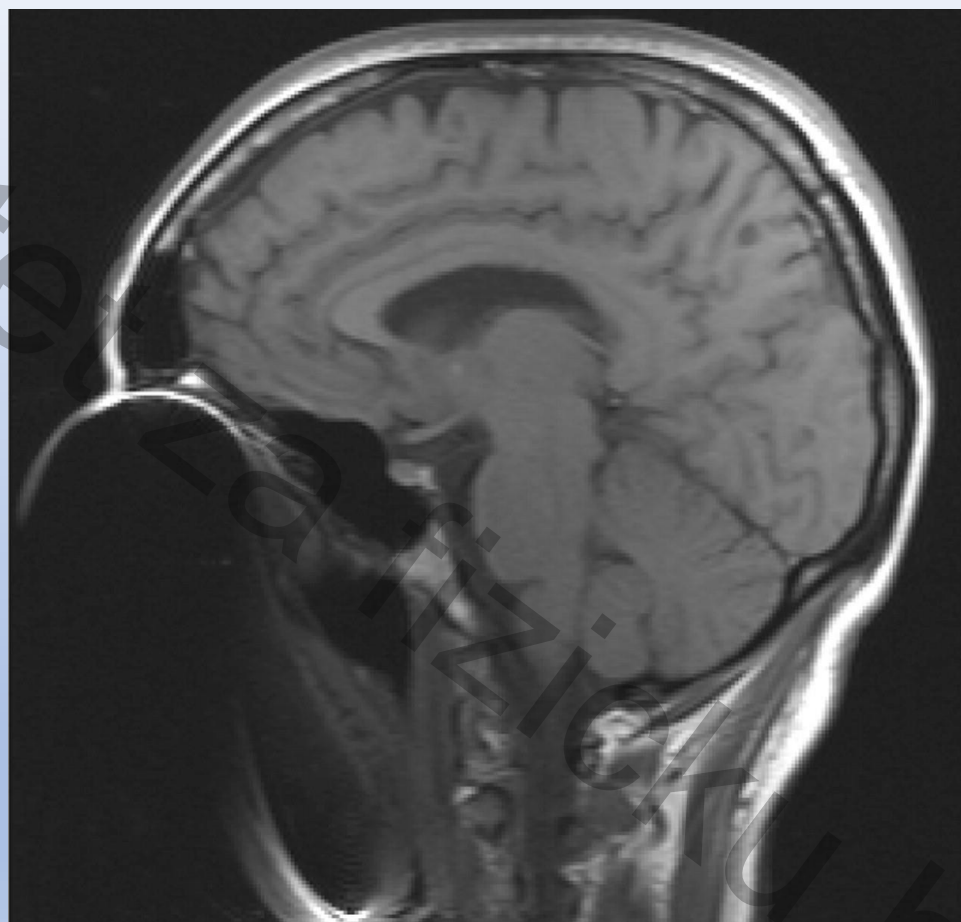


# Gibbs-ov артефакт

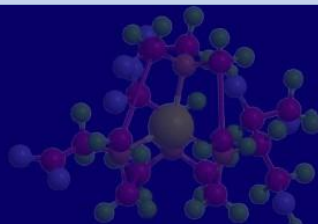


# Артефакти сусцептибилности

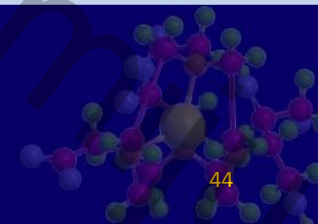
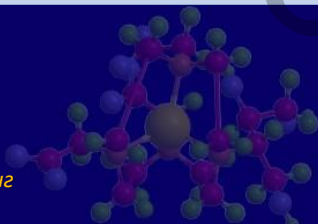
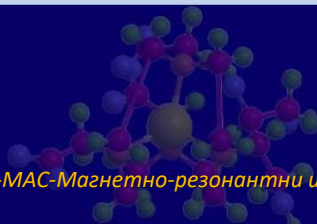


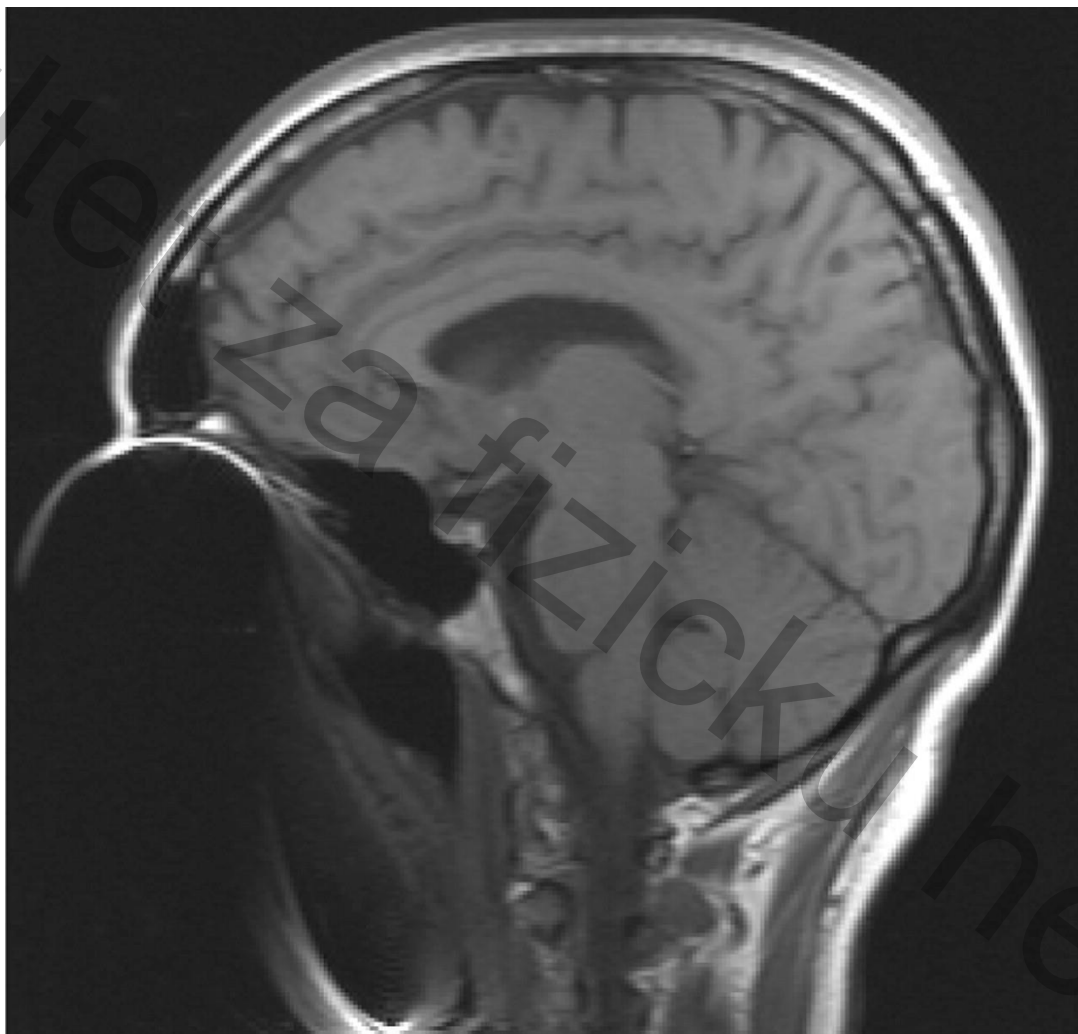


19.04.2023.

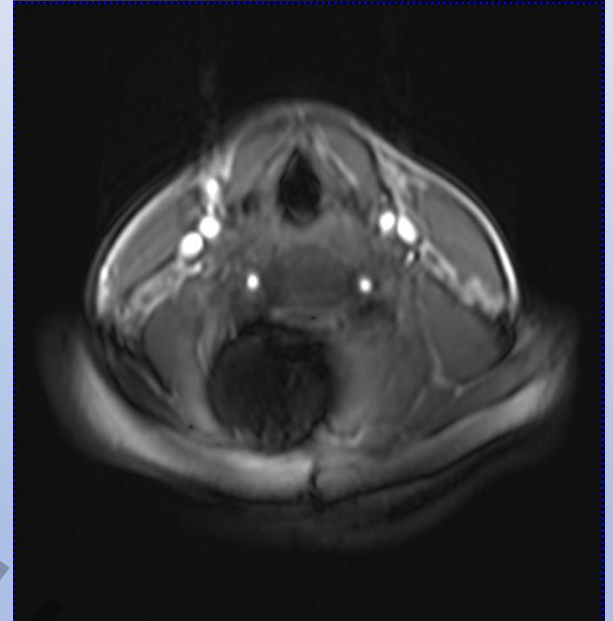
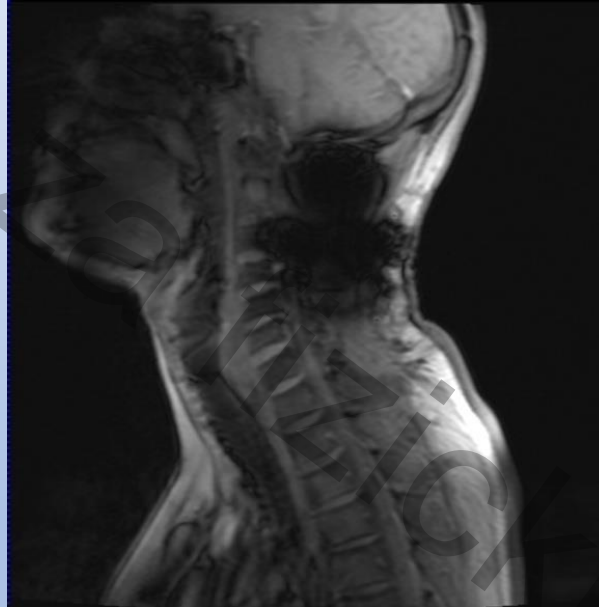
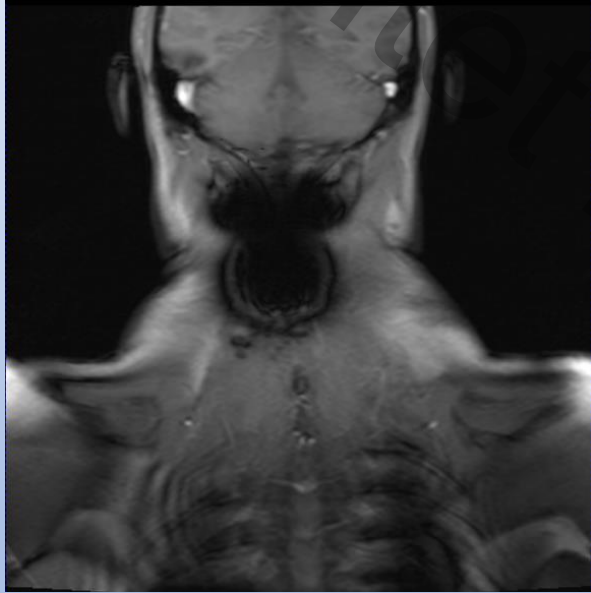


ФФХ-МАС-Магнетно-резонантни имиџинг





# “Пластика”



# RF артефакти



- Спољни RF сигнал (неко није затворио врата)
- Проблеми у RF систему