

# MRI

Mgr. Ing. Marek Dostál, Ph.D. – Biofyzikální ústav LF MU, KRNM FNB

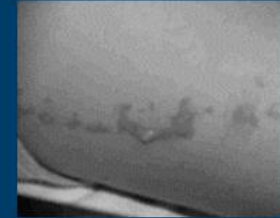
# PROČ ZNÁT ZÁKLADY MRI



Skin touch



Thermoflect blanket lined with aluminum



2<sup>nd</sup> degree burn caused by silver microfiber in the shirt



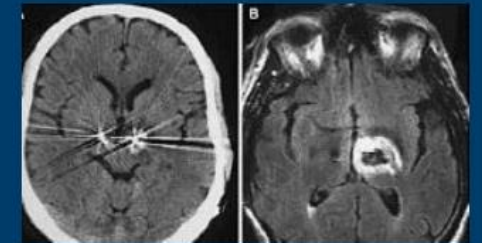
Tattoo burns



Leads burns



3<sup>rd</sup> degree burn caused by direct contact with RF coil

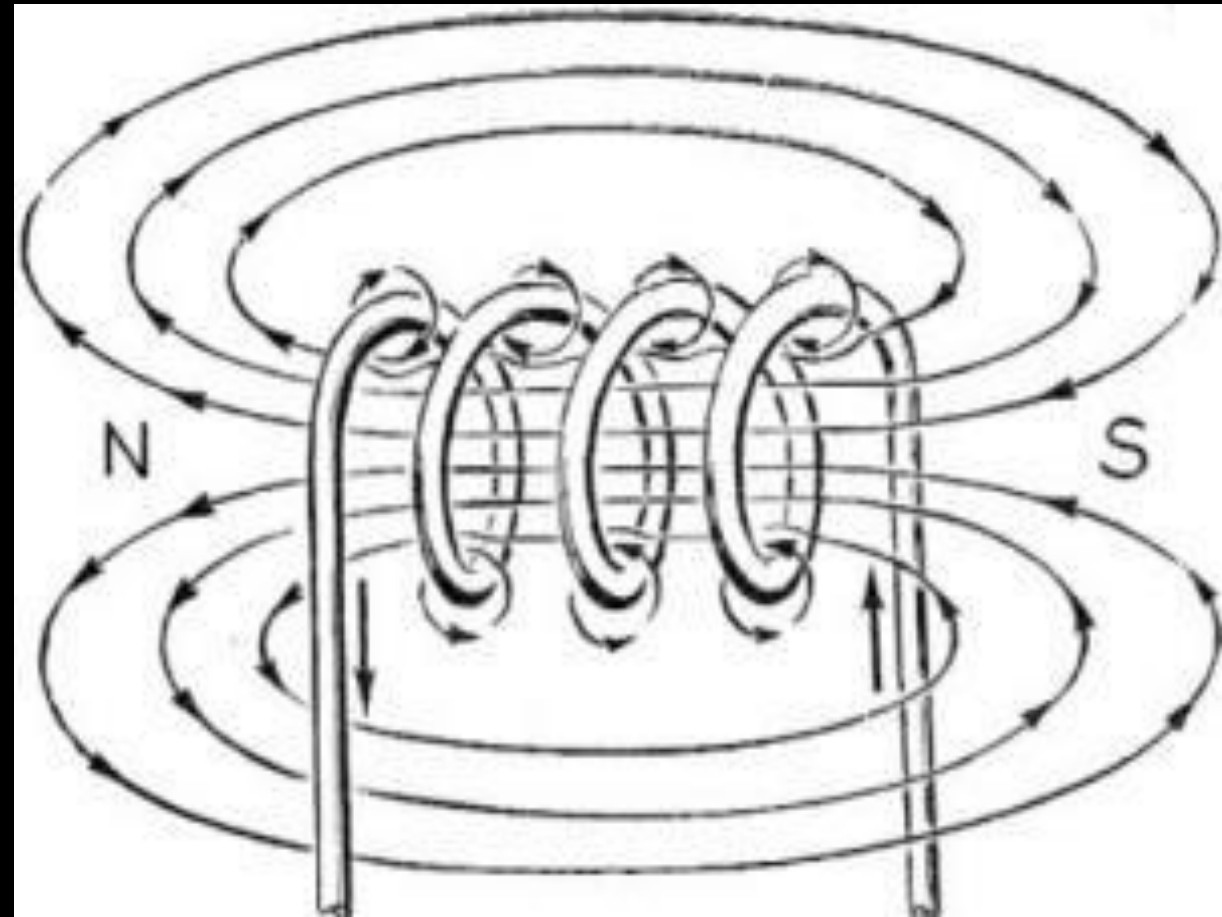
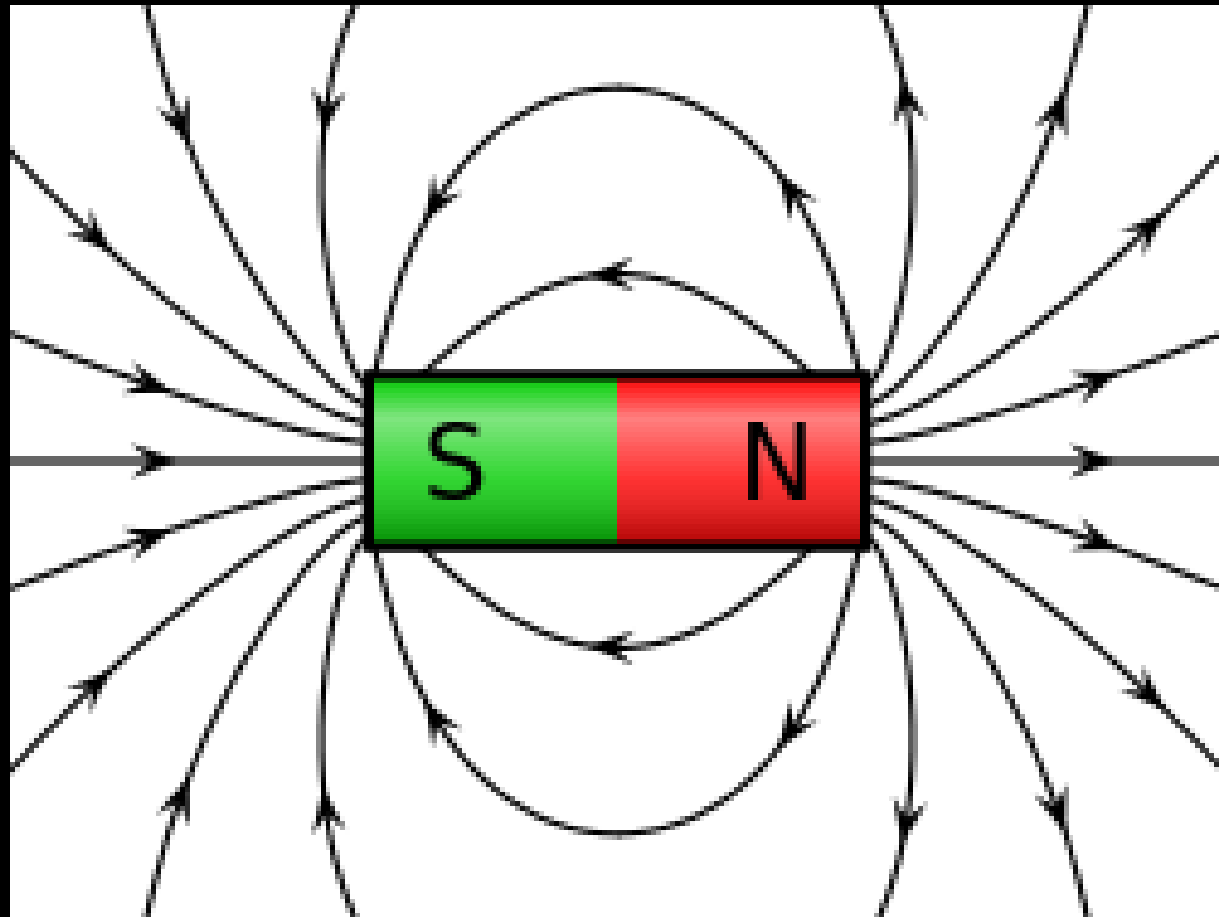


Hemorrhage due to heating at an electrode tip of a neurostimulator

# HISTORIE MRI

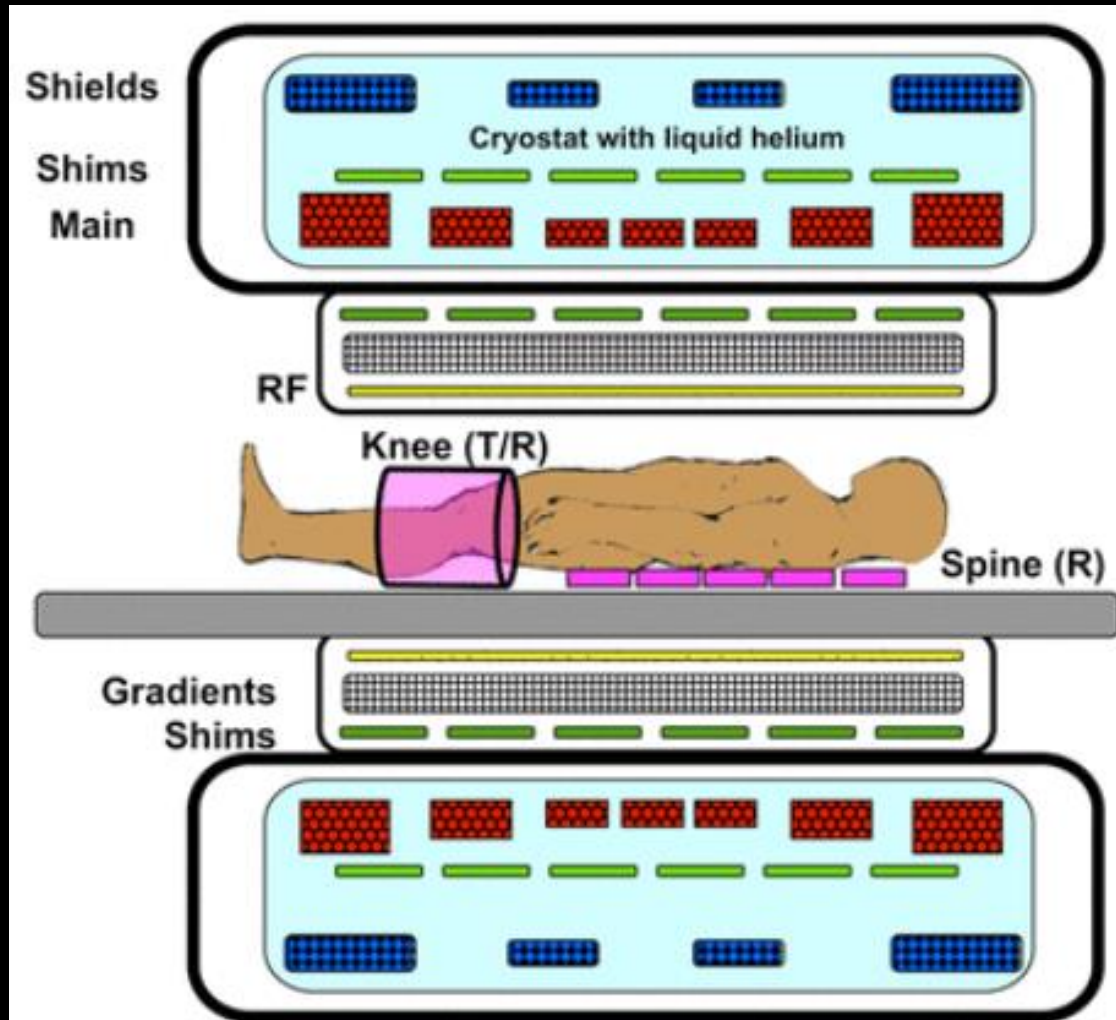
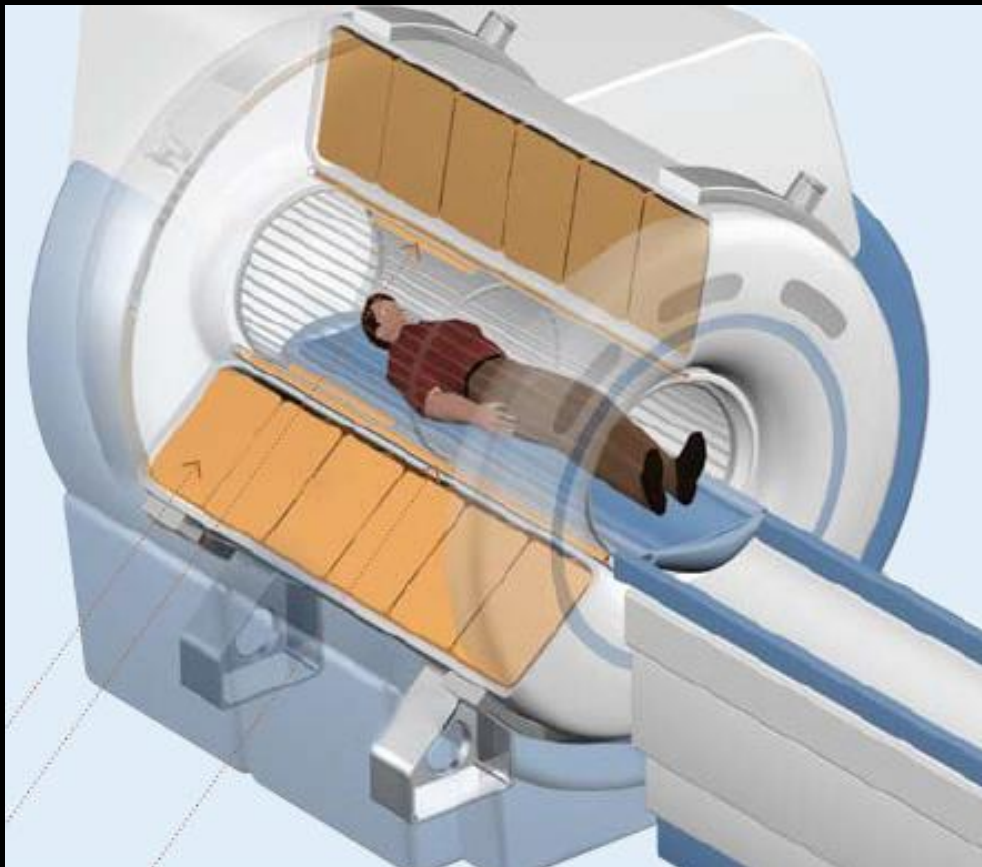
- 1921 – objev elektronového spinu (A. Compton).
- 1924 – objev jaderného spinu (W. Pauli).
- 1938 – potvrzení magnetického kvantového jevu (NMR) (I.I. Rabi).
- 1945 – vylepšení Rabiho přístroje (zrod NMR spektroskopie) (F. Bloch a E. Purcell).
- 1949 – objev chemického posunu.
- 1971 – různé tkáně mají různé relaxační doby (R. Damadian).
- 1973 – počátky tomografického MRI (P. Lauterbur).
- 1977 – první celotělové MRI (R. Damadian).
- 1987 – zrod MR angiografie (zobrazení toku krve).
- 1992 – zrod funkční MRI (fMRI).

# MAGNETICKÉ POLE



# MAGNETICKÉ POLE

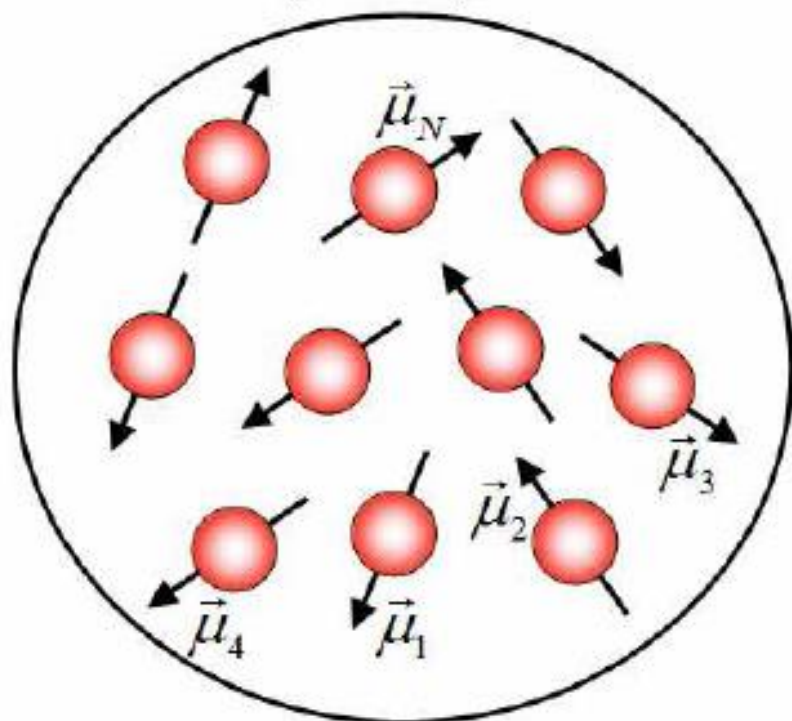
- Homogenita mag. Pole
- Cívky



# MAGNETIZACE

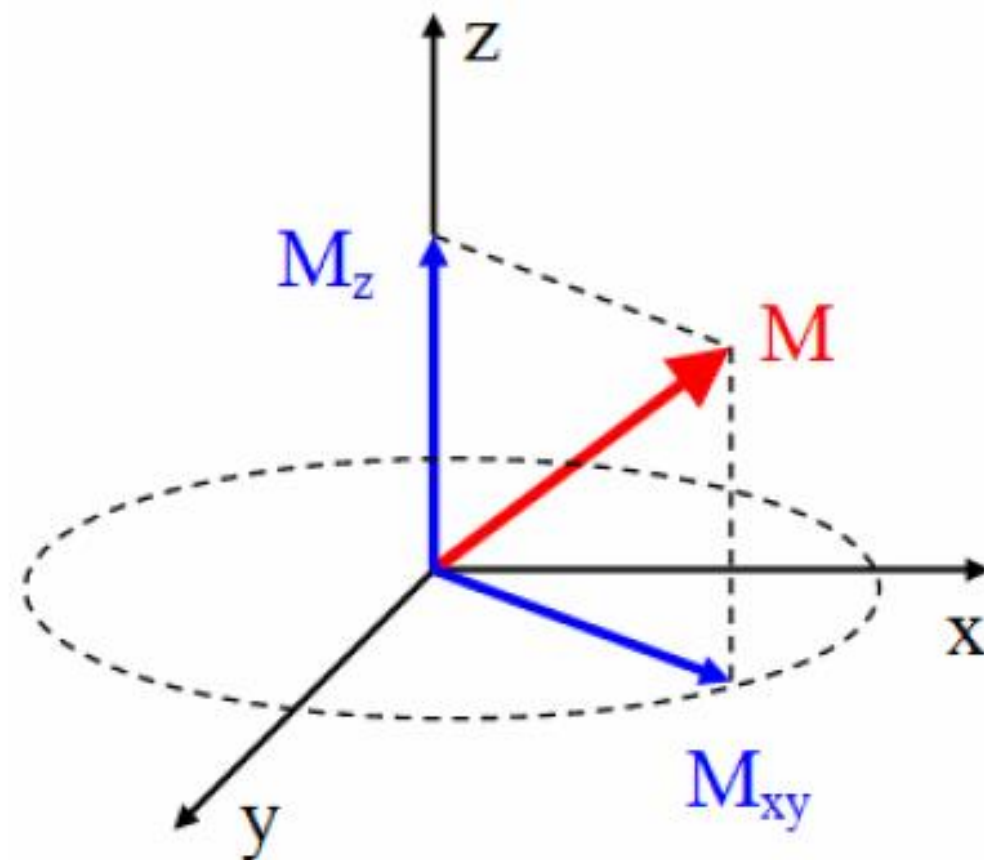
$N$  = počet částic v látce

$V$  = objem látky



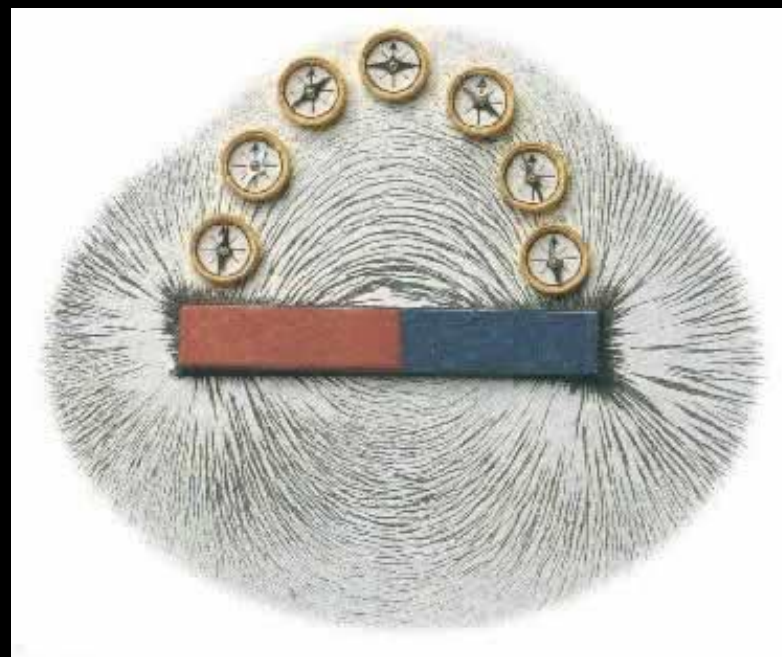
$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{\mu}_i$$

$\vec{\mu}_1 \dots \vec{\mu}_N$

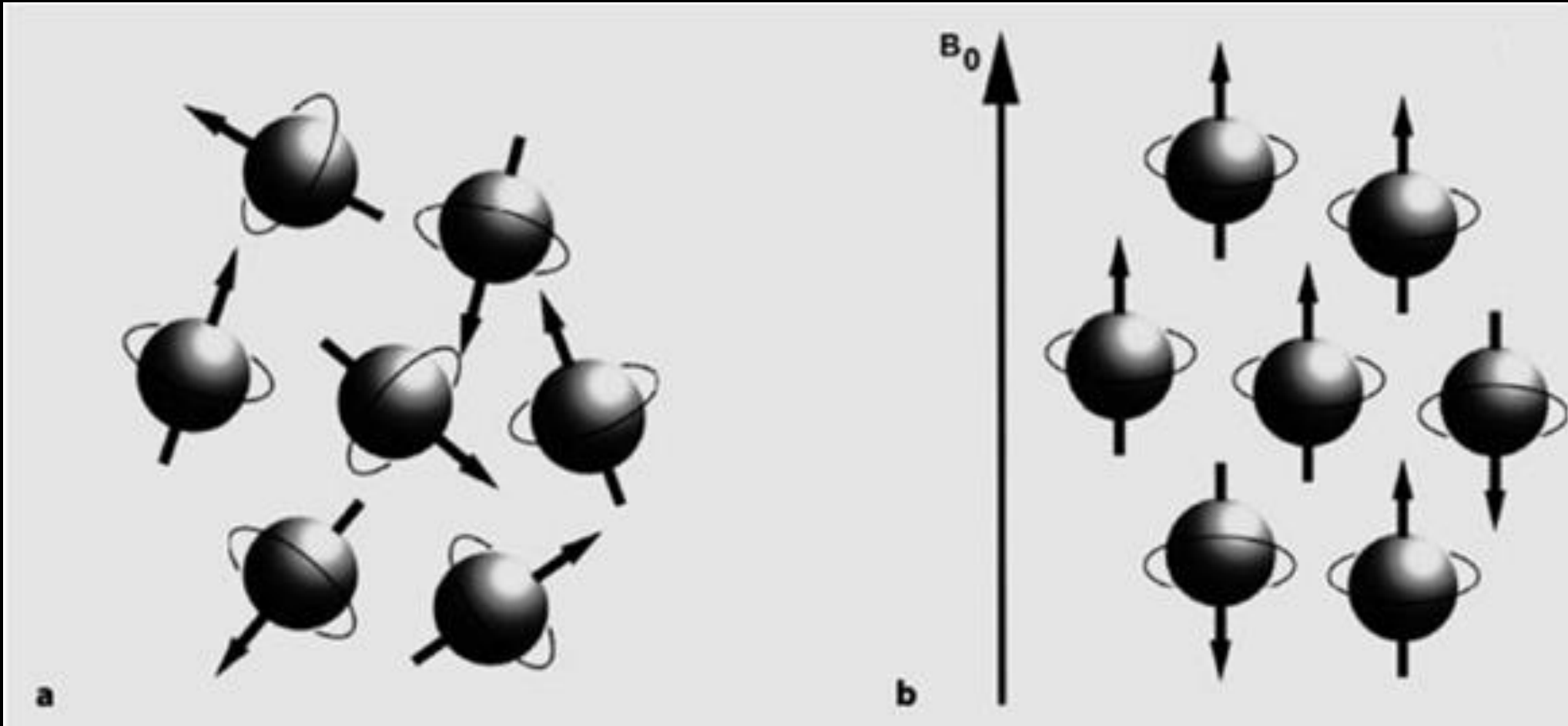


# MAGNETIZACE

- Důsledkem nenulové teploty ( $T > 0 \text{ K}$ ) se částice pohybují zcela náhodně a také orientace magnetických momentů je zcela náhodná.
- Proto je střední hodnota vektoru magnetizace nulová  $\langle \vec{M} \rangle = 0$ .
- Orientace mag. momentů v silném vnějším statickém mag. poli .
  - Střelka kompasu

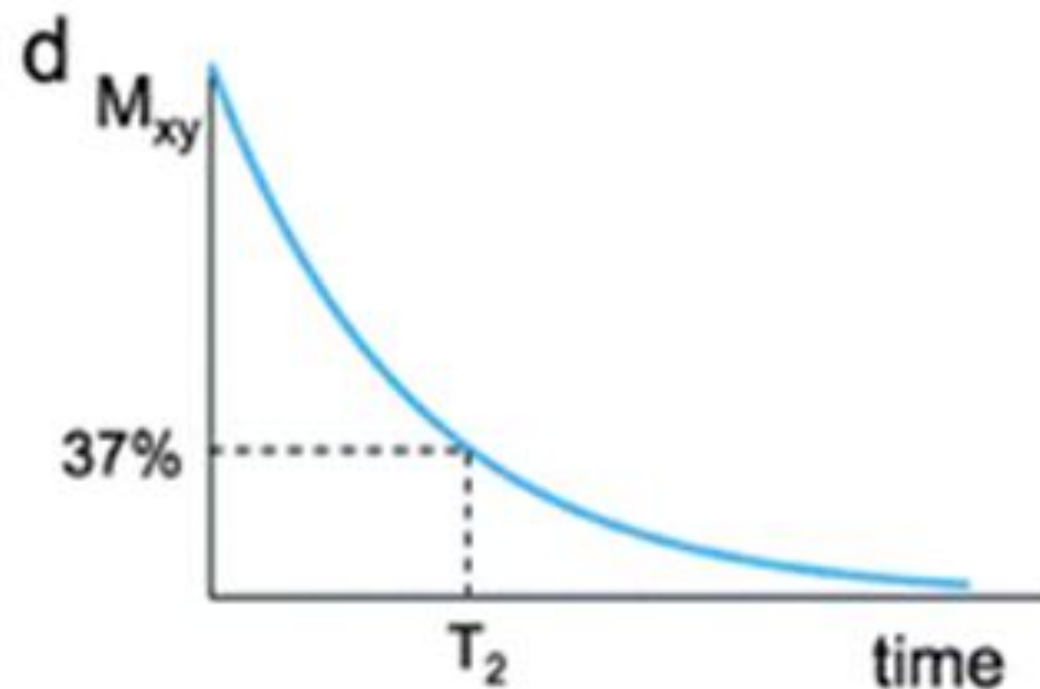
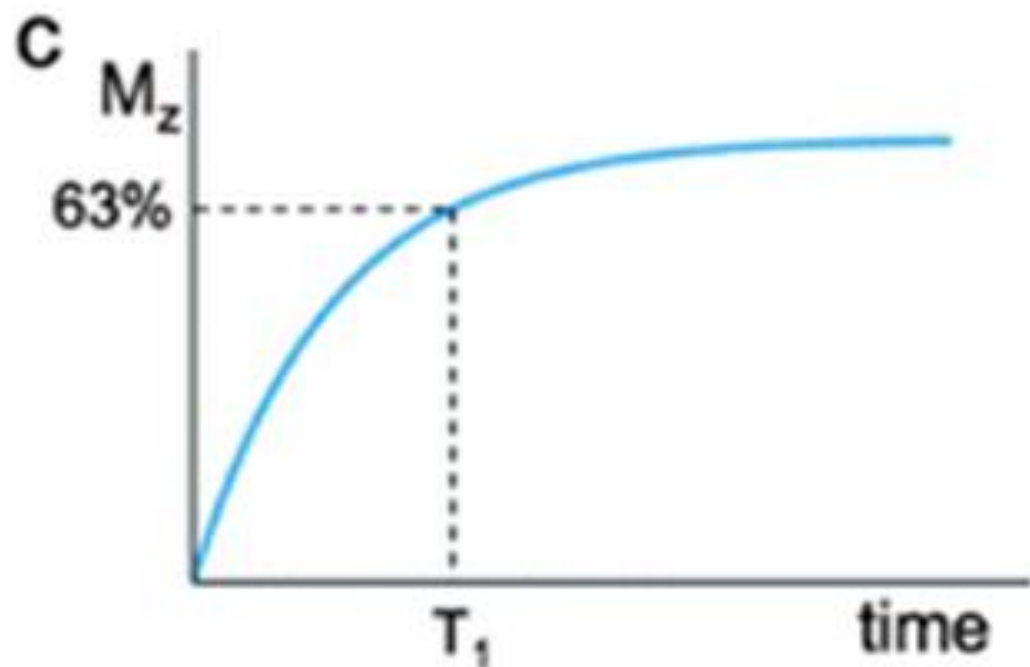


# MAGNETIZACE





# RELAXACE

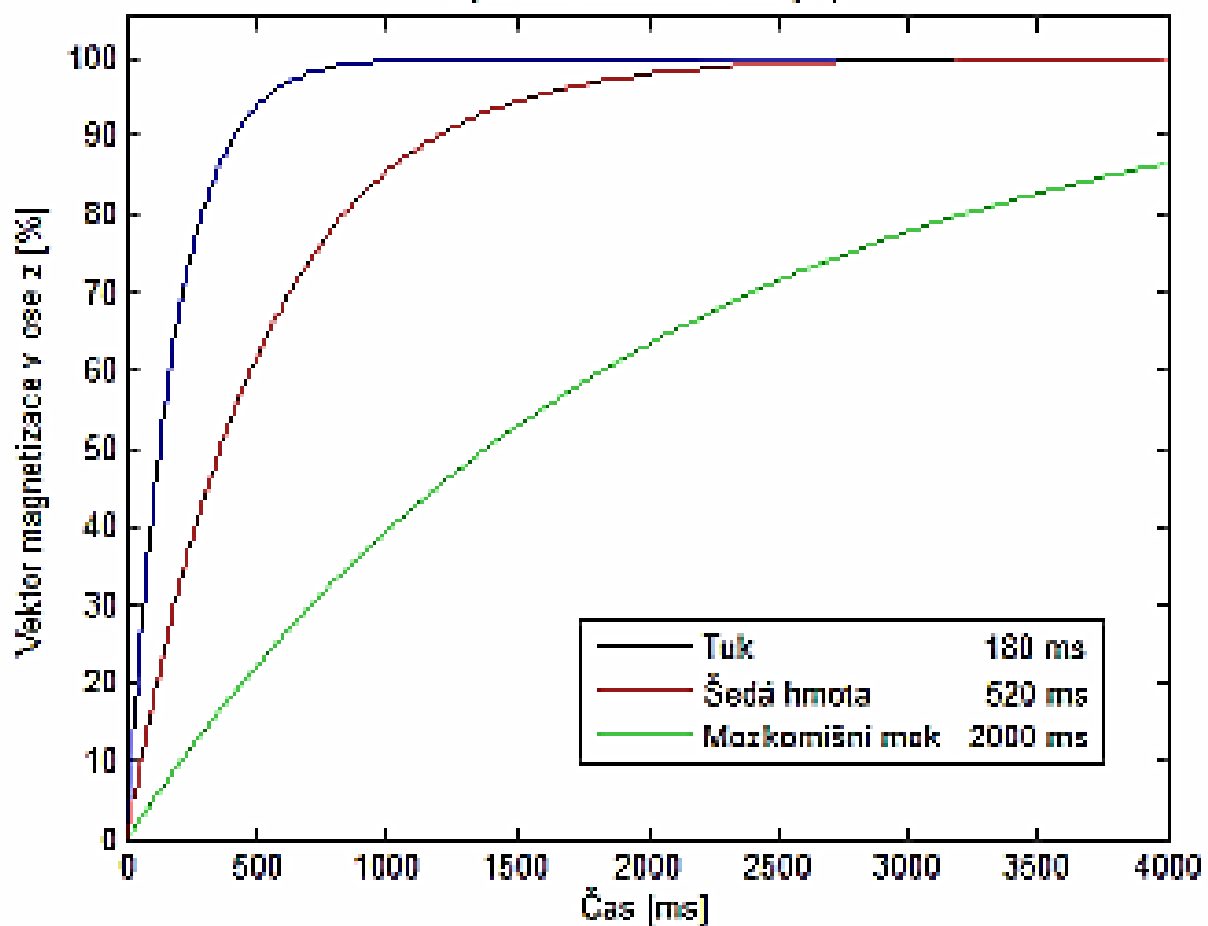


# RELAXACE

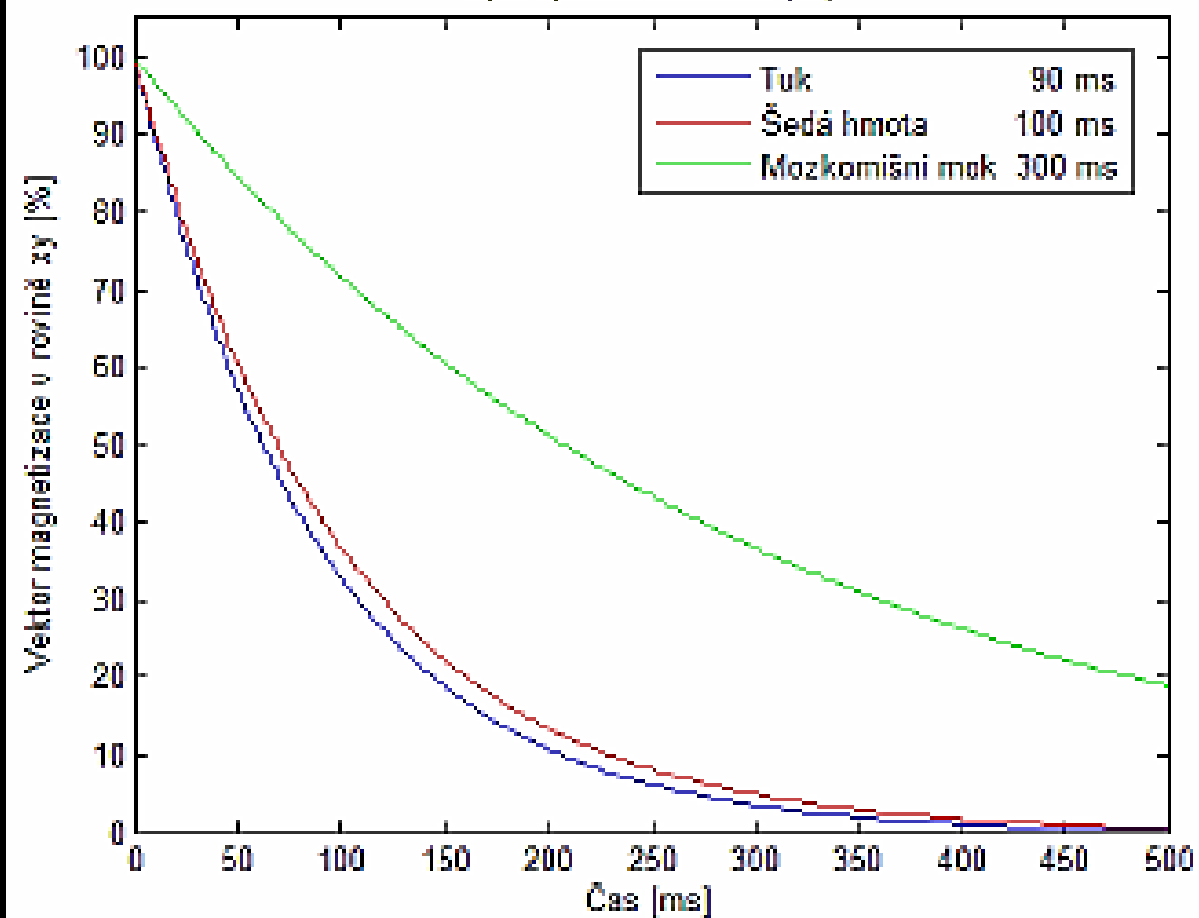
Typ látky	T <sub>1</sub> [ms]	T <sub>2</sub> [ms]
tuk	250	60
sval	900	50
krev	1400	100-200
<b>Mozek</b>		
šedá hmota (GM)	950	100
bílá hmota (WM)	600	80
cerebrospinální tekutina (CSF)	2000	250

# RELAXACE

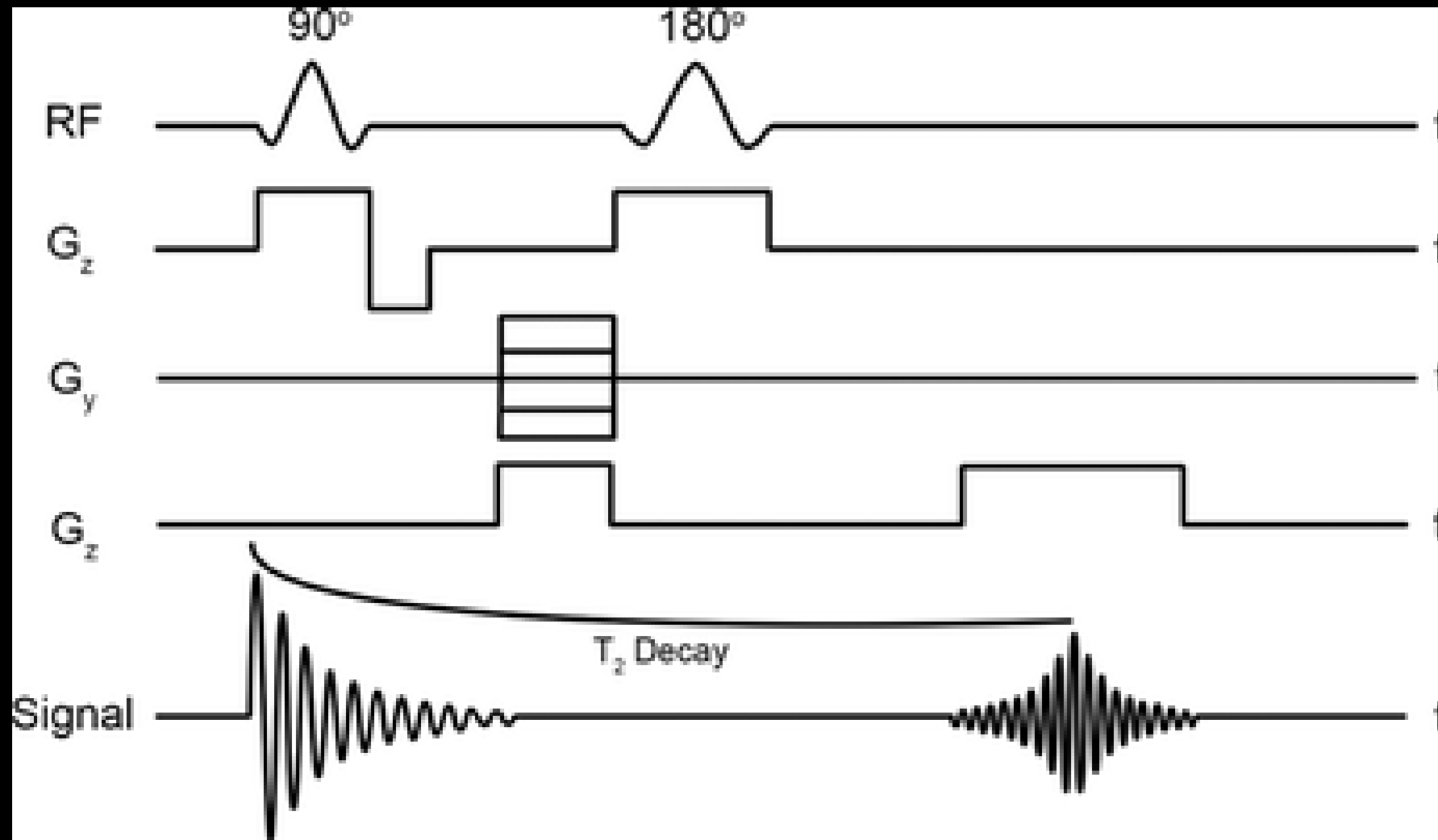
Spin-nířžková interakce (T1)



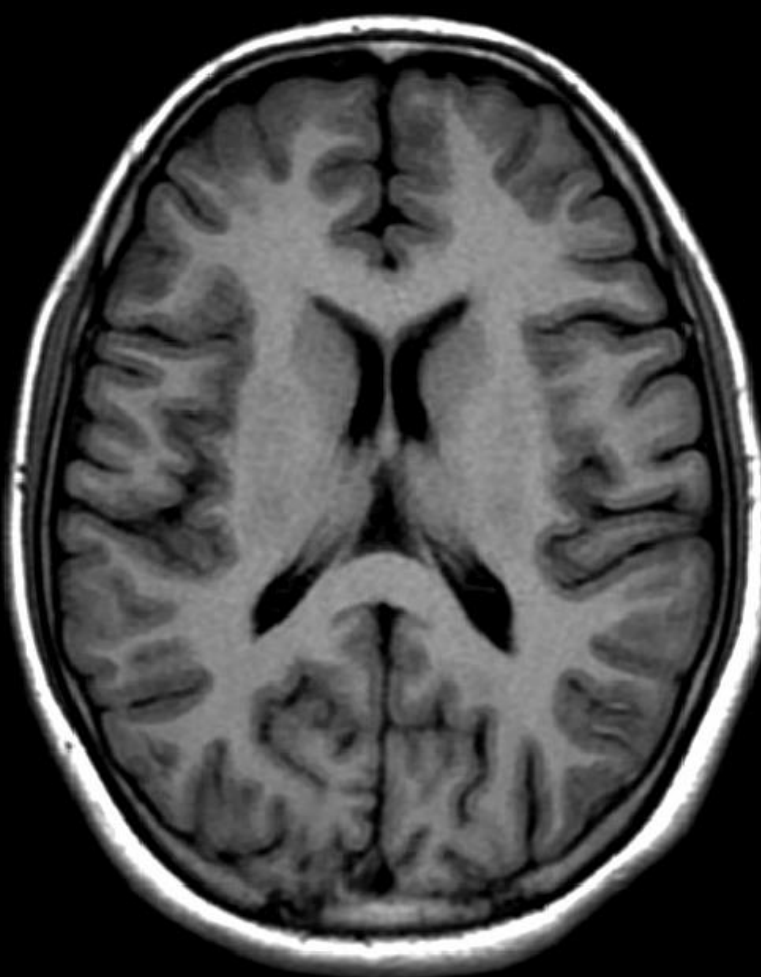
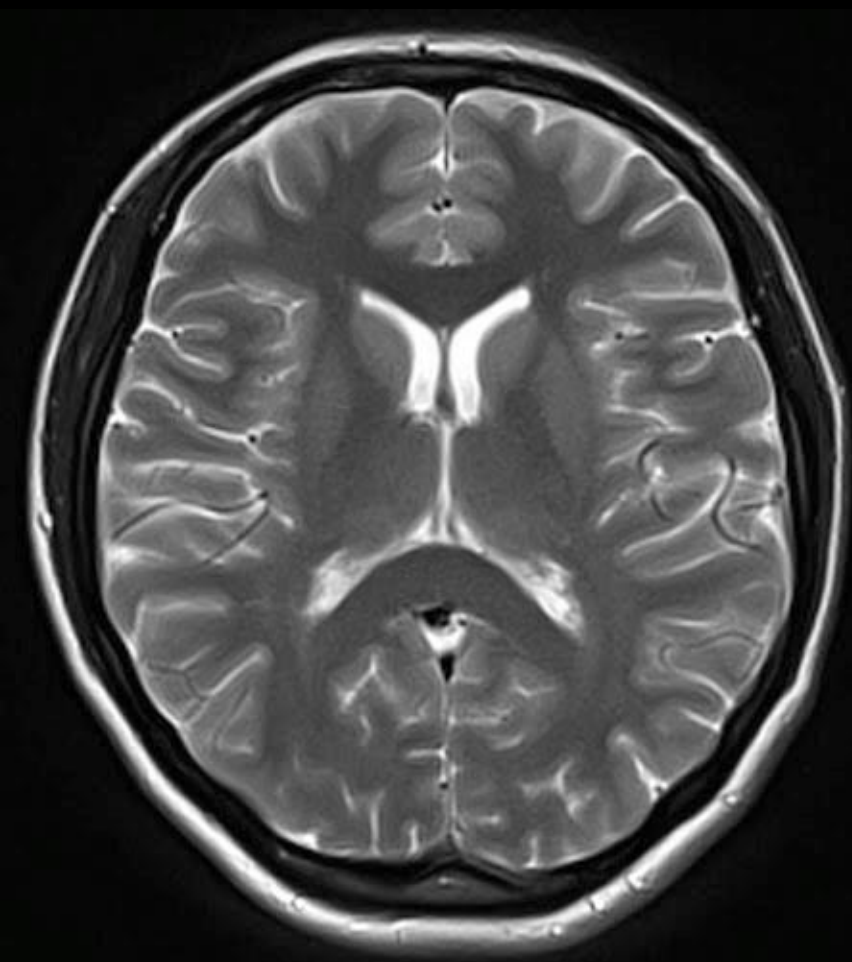
Spin-spinová interakce (T2)

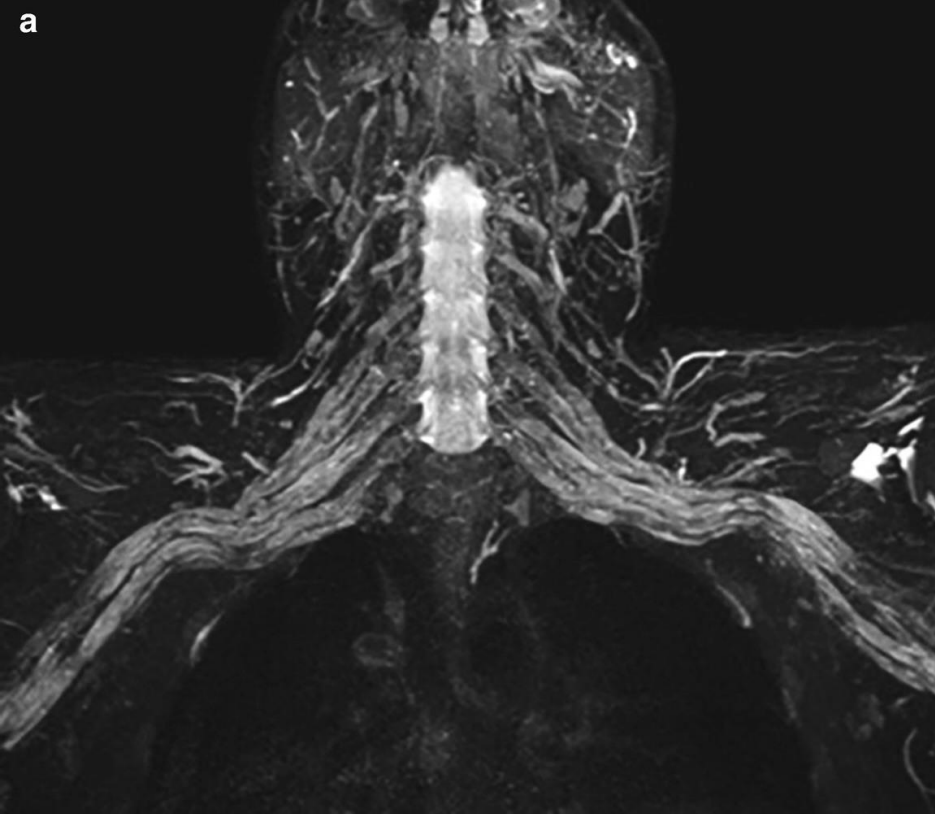
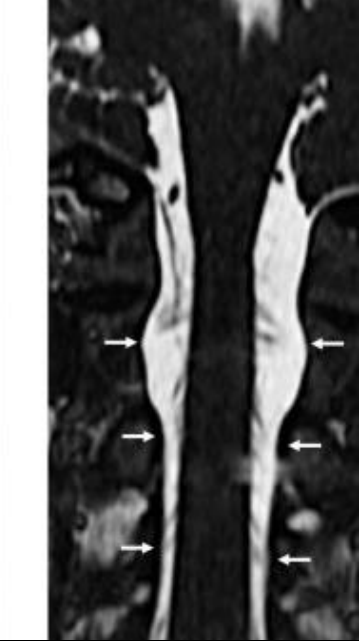
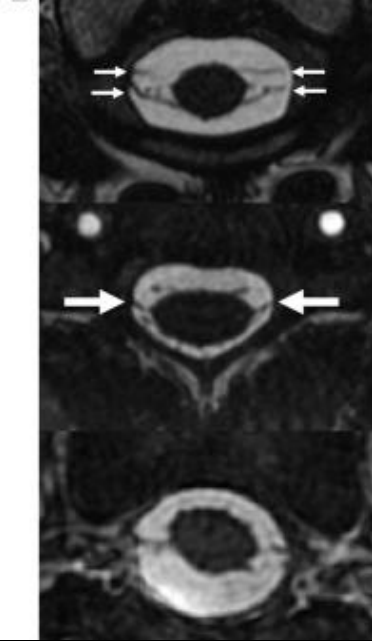
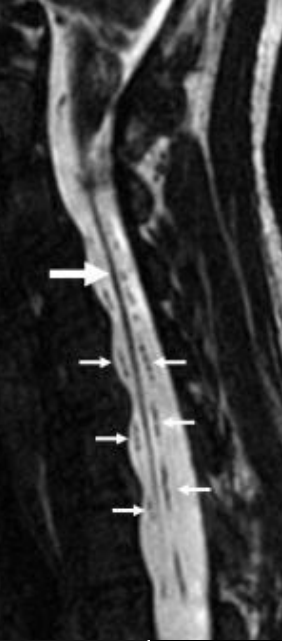
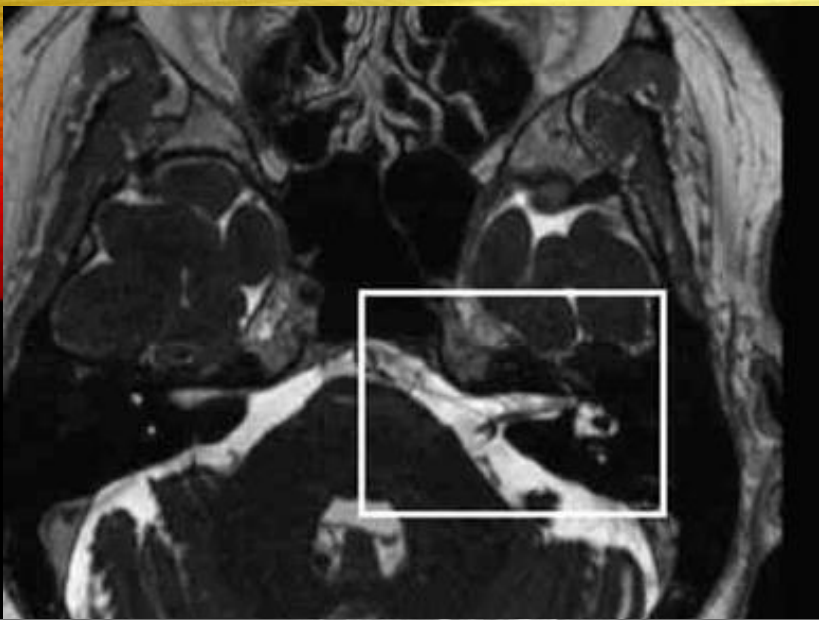


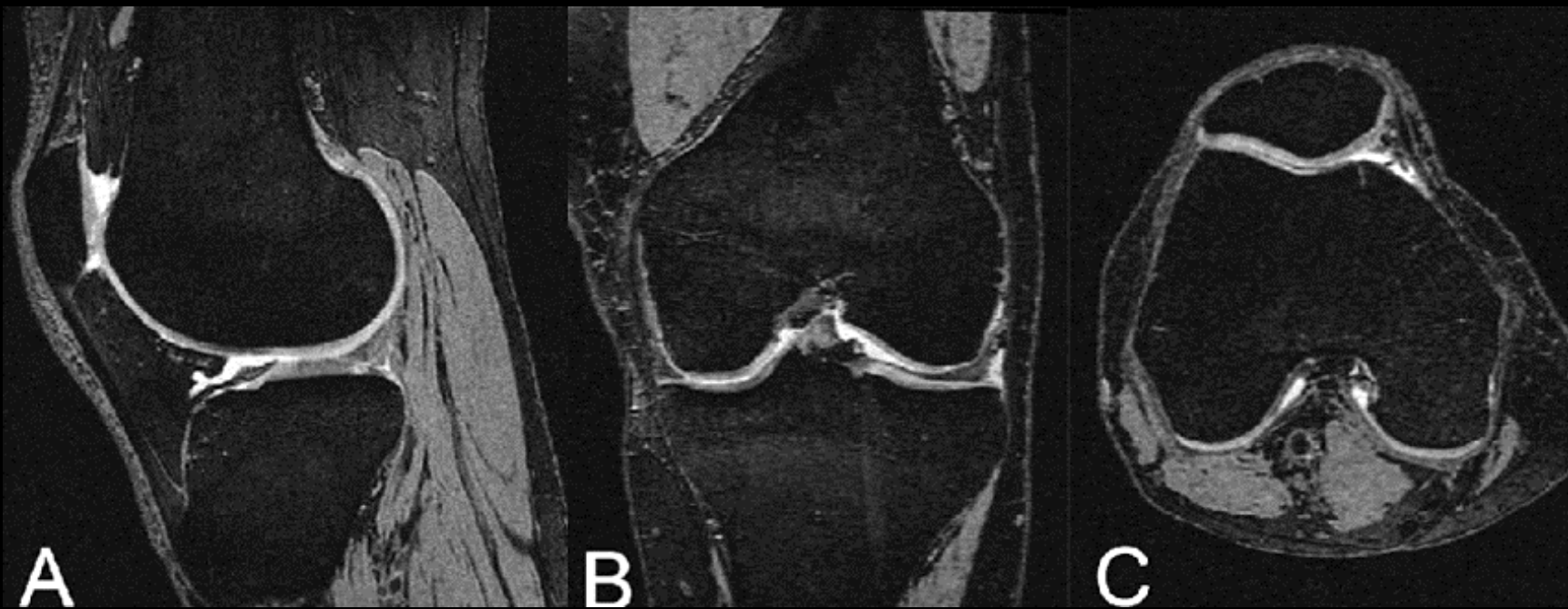
# PULSNÍ SEKVENCE

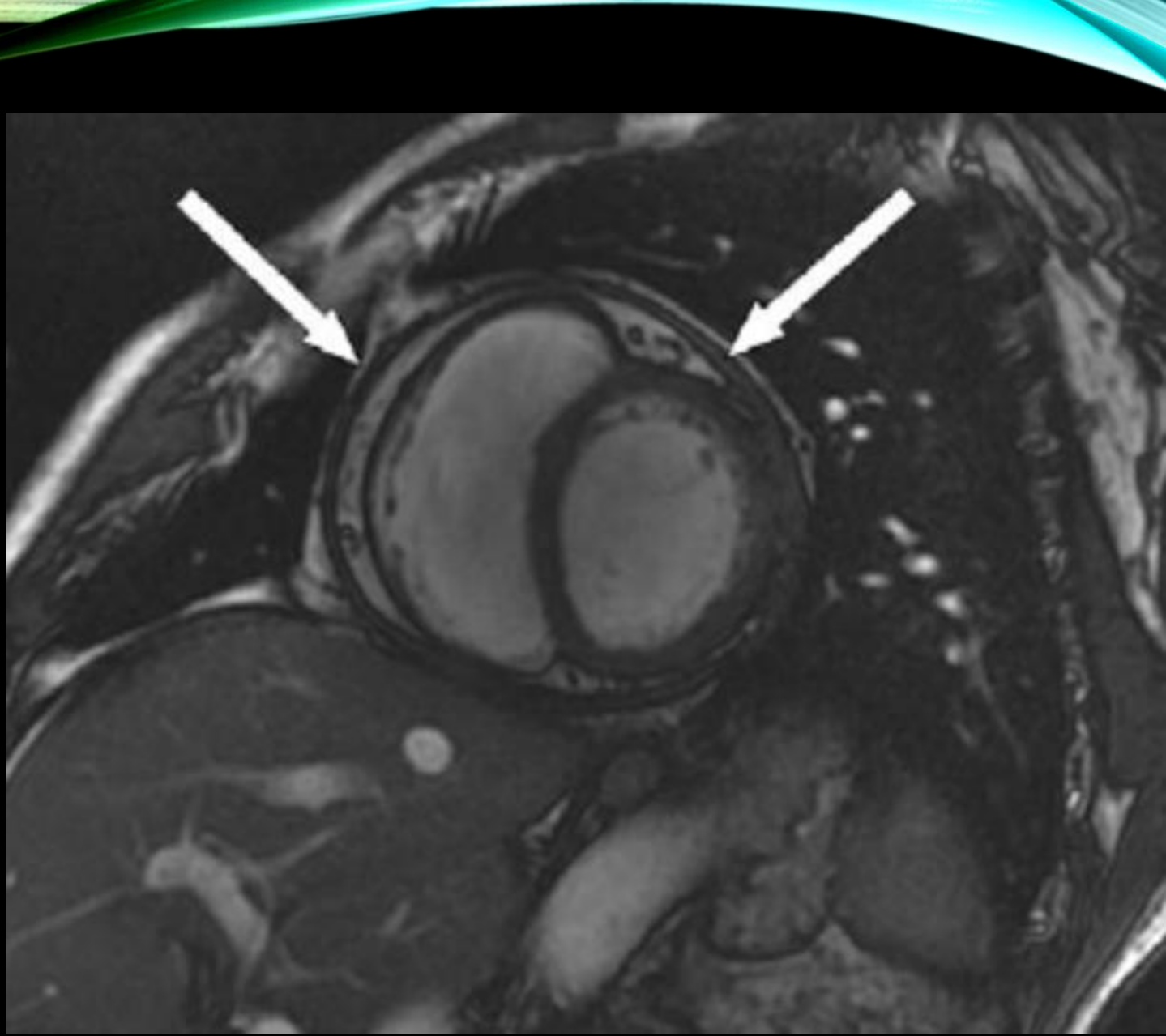


# PULSNÍ SEKVENCE

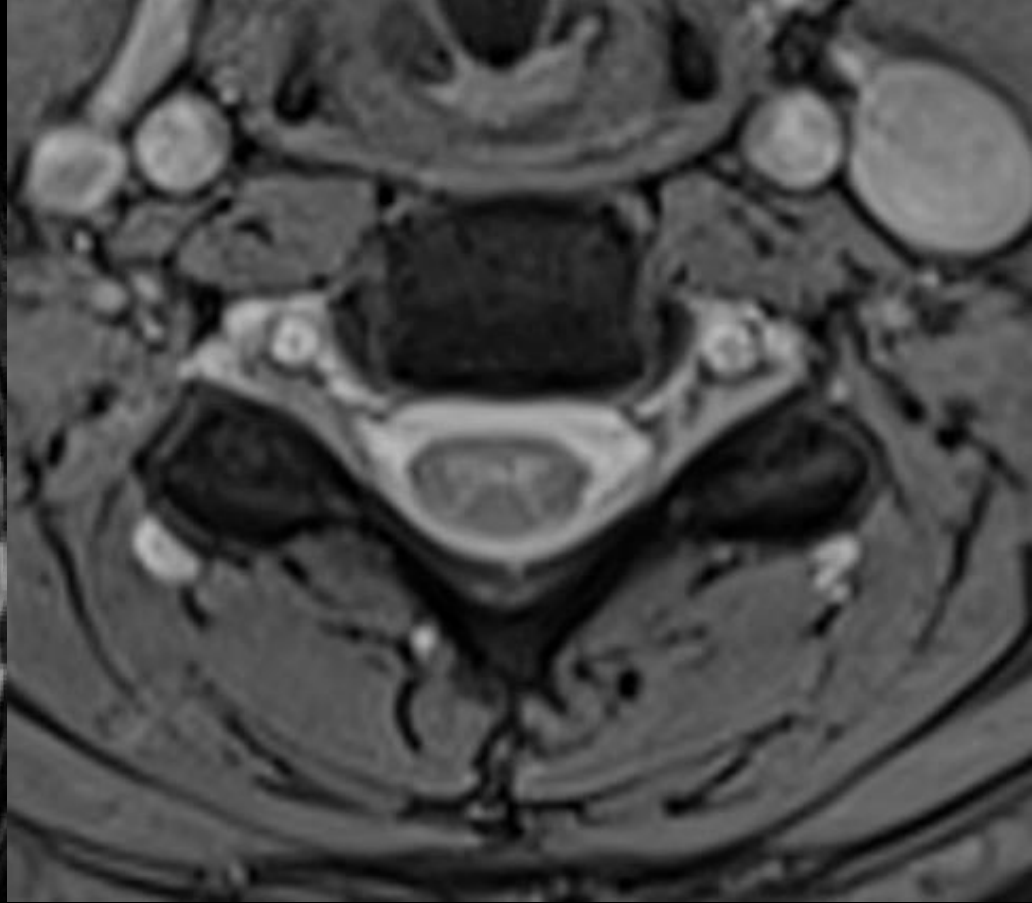












wholebrain diffusion tractography



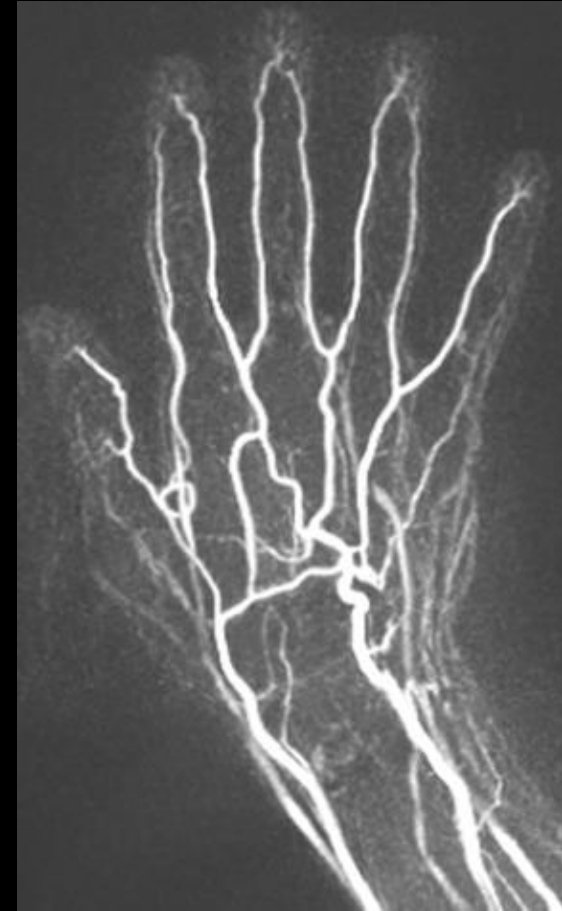
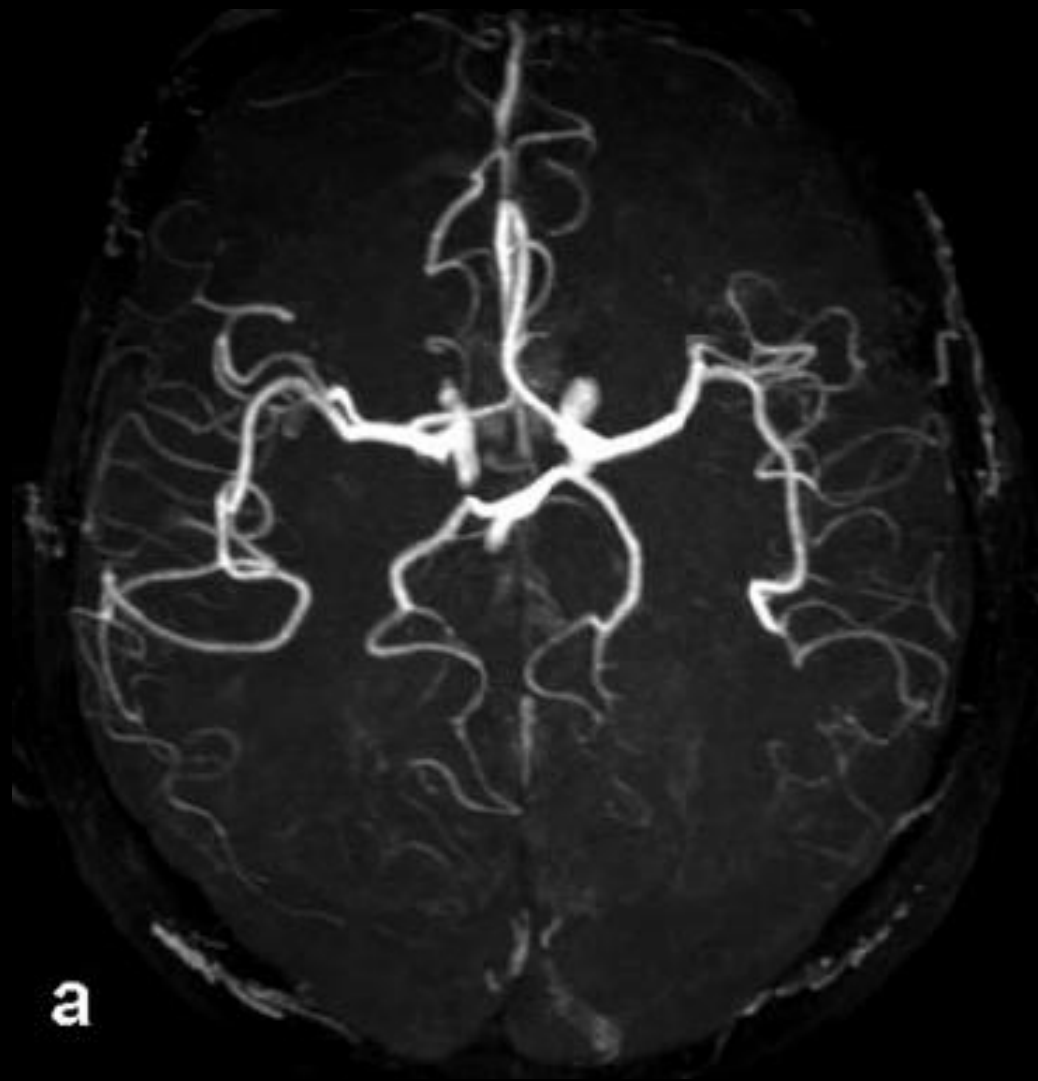
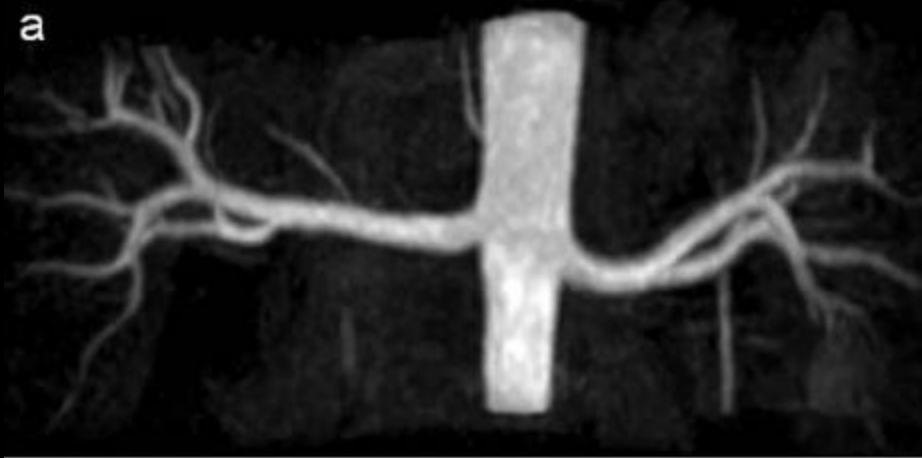
injury

average length of streamlines  
in every voxel



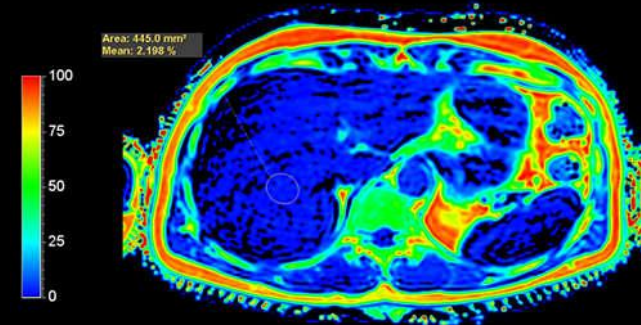
colour denotes  
reduction in streamline length

small injury causes reduction  
in streamline length along  
entire tract

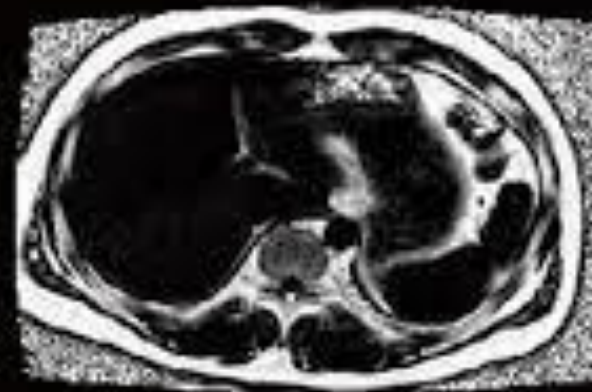


# DIXON KVANTIFIKACE

- Multi-echo
- Multi-fat peak korekce
- B0 korekce
- T2\* mapování
- Tuková frakce

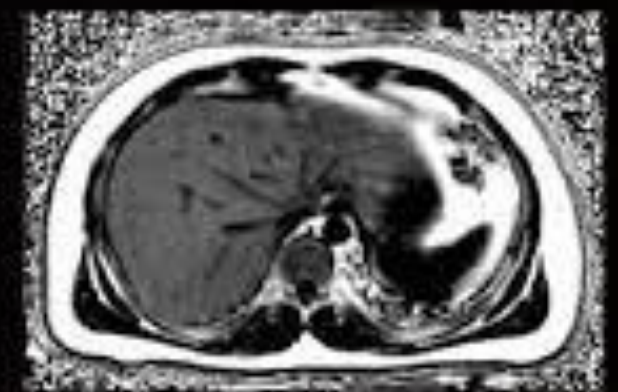


Healthy Volunteer



Liver Fat-fraction: 2%

Fatty Liver



Liver Fat-fraction: 22%

# MR BEZPEČNOST

- Silné statické i dynamické mag. Pole
  - Dle FDA až do 8T pro dospělého bez rizika
  - Rychlá změny dB/dt => stimulace perif. Nervů nikoliv srd.svalu
- Vysoko-frekvenční RF pulzy
  - Většina E přeměněna na teplo (kumulativní)
  - Specific Absorption Rate (SAR, [W/kg])
  - SAR < 4 W/kg => žádné zvýšení teploty
  - SAR < 6 W/kg => dobře tolerováno
  - Větší zvýšení T na povrchu
- Hluk
- Malý prostor

# MR BEZPEČNOST

- Hluk
  - Roste s  $B_0$  a rychlostí gradientů
  - Různé metody redukce hluku
  - Může být problém u psychiatrických pacientů či těhotenství
- Malý prostor
  - Lze potlačit otevřenou konstrukcí magnetu
  - Uzavřené magnety s větší gantry (70 cm)
  - Uklidnění pomocí léků či anestezie

# MR BEZPEČNOST

- Kovové implantáty
  - Dislokace feromagnetických díky  $B_0$
  - Zahřívání el. vodivých díky RF a grad. pulzům
  - Feromagnetický materiál vždy absolutní kontraindikace
  - Neferomagnetické = artefakty v obraze
  - Některé implantáty lze použít pouze za určitých podmínek ( $B_0$ , grad., SAR...)

# MR BEZPEČNOST - KARDIO STIM.

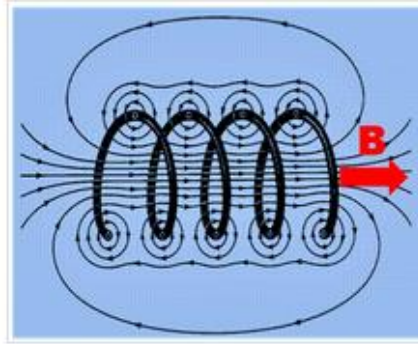
- Pacient musí mít potvrzení s razítkem a podpisem ošetřujícího lékaře, že jeho kardiostimulátor (včetně elektrod) je MR kompatibilní.
- Toto potvrzení nesmí být starší než 3 dny. Nestačí pouze průkazka o typu kardiostimulátoru. V případě nejasnosti je vždy nutné kontaktovat ošetřujícího lékaře, je možné zhotovit RTG snímek hrudníku, které však musí indikovat ošetřující lékař.
- Součástí potvrzení musí být informace, že kardiostimulátor je nastaven v MR kompatibilním modu. S výhodou je přímo výtisk z kalibrace přístroje. Toto potvrzení nesmí být starší než 24 hodin.
- Součástí potvrzení musí být vyjádření ošetřujícího lékaře, že pacient nemá žádné další implantáty, které by byly kontraindikací k MR vyšetření. Zvláště například ponechané elektrody apod.
- Na MR pracovišti musí být informace o podmínkách pro MR vyšetření u těchto pacientů pro jednotlivé typy stimulátorů (např. nutnost centrace mimo hrudník atd.).
- Buď si je pacient přinese s sebou nebo již musí být na pracovišti k dispozici.
- Při měření musí být pacient monitorován pomocí EKG.



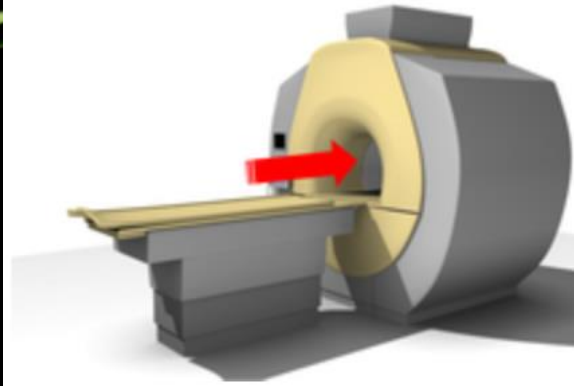
<b>Absolutní kontraindikace</b>	<b>Relativní kontraindikace (potenciálně nebezpečné)</b>	<b>Bezpečné</b>	<b>Není kontraindikace</b>
<u>Implantovaný kardiostimulátor nebo defibrilátor (ICD)</u>	Stenty (cévní výztuže), žilní filtry, kovový embolizační materiál <u>a</u> okludery <u>méně než 6 týdnů</u> po implantaci, pokud není písemně doložena jejich MR kompatibilita	Stenty (cévní výztuže), žilní filtry, kovový embolizační materiál <u>a</u> okludery <u>6 a více týdnů</u> po implantaci	Písemné potvrzení výrobce implantátu o jeho plné MR kompatibilitě (kdekoli v těle pacienta) s písemným potvrzením operátora, který jej implantoval
Ponechané elektrody po deplantaci kardiostimulátoru nebo defibrilátoru	Kloubní náhrady, osteosyntetický materiál a dentální implantáty <u>méně než 6 týdnů</u> po implantaci, pokud není písemně doložena jejich MR kompatibilita	Kloubní náhrady, osteosyntetický materiál a dentální implantáty <u>6 a více týdnů</u> po implantaci, bez známek uvolňování (bez ohledu na použitý materiál)	Nitroděložní tělíska (IUD)
Aneuryzmatické cévní svorky (klipy), pokud není písemně doložena jejich MR kompatibilita	Kloubní náhrady <u>a</u> osteosyntetický materiál se známkami uvolňování	Náhrady srdečních chlopní s výjimkou cíleně udané MR nekompatibility	Stenty (cévní výztuže), žilní filtry, kovový embolizační materiál <u>a</u> okludery, pokud lze písemně doložit plnou MR kompatibilitu (bez ohledu na dobu implantace)
<u>Elektronické implantáty (kochleární, inzulinová pumpa atd.), pokud není písemně doložena MR kompatibilita</u>		Neaneuryzmatické chirurgické cévní svorky (hemostatické klipy) <u>6 a více týdnů</u> po implantaci	
Kovová cizí tělesa z jiného než prokazatelně nemagnetického kovu :- intrakraniálně - intraorbitálně		Svorky na žlučových cestách <u>6 a více týdnů</u> po operaci	



GE Signa 1.5T superconducting scanner



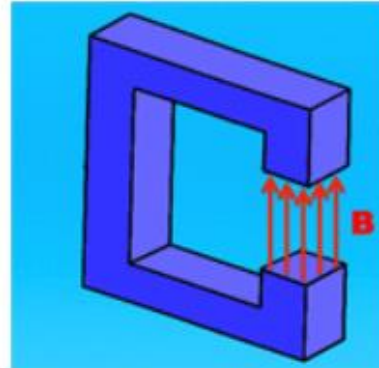
Magnetic field created by solenoid



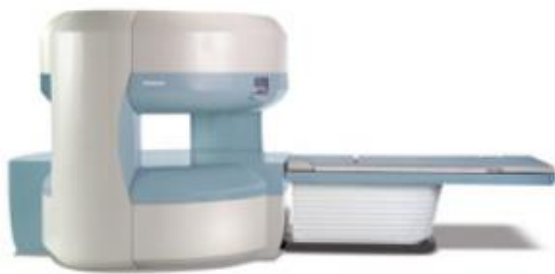
# KONSTRUKCE



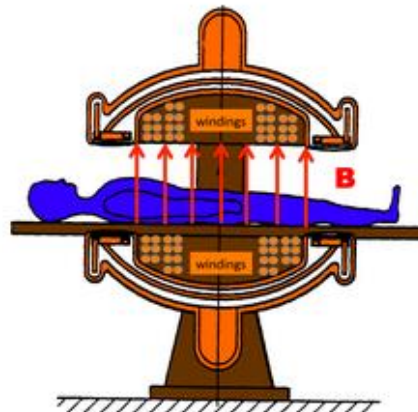
Hitachi Aperto 0.4T permanent magnet scanner



C-shaped permanent magnet



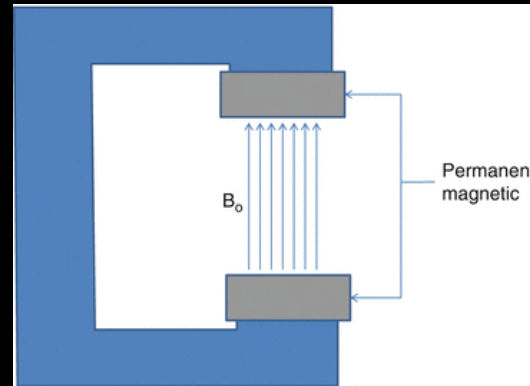
Hitachi Oasis 1.2T HFO superconducting scanner



Dipolar electromagnet design



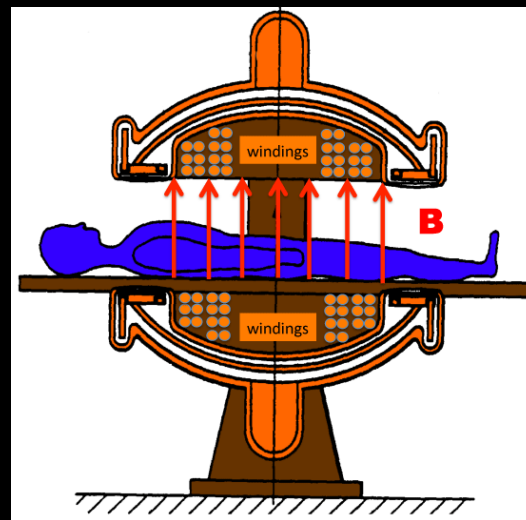
# PERMANENTNÍ



- Slitiny kovů ( $\text{Fe}_{77}\text{Nd}_{15}\text{B}_8\dots$ )
- $B_0 = 0,1 - 0,3 \text{ T}$
- Výhody:
  - Nízká pořizovací cena
  - Nízké provozní náklady
  - Otevřený
- Nevýhody:
  - Hmotnost (15 – 70 tun)
  - Stabilita pole velmi citlivá na teplotu

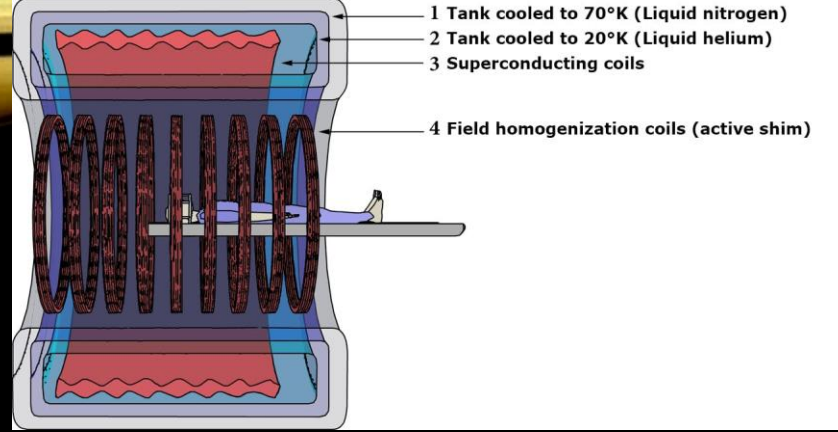


- Elmag indukce
- $B_0 = 0,1 - 0,4 \text{ T}$
- Výhody:
  - Nízká pořizovací cena
  - Nízká hmotnost
  - Otevřený a vypnutelný
- Nevýhody:
  - Velká spotřeba energie ( $\sim 50 \text{ kW}$ )
  - Stabilita pole velmi citlivá na teplotu



EL.MAG.





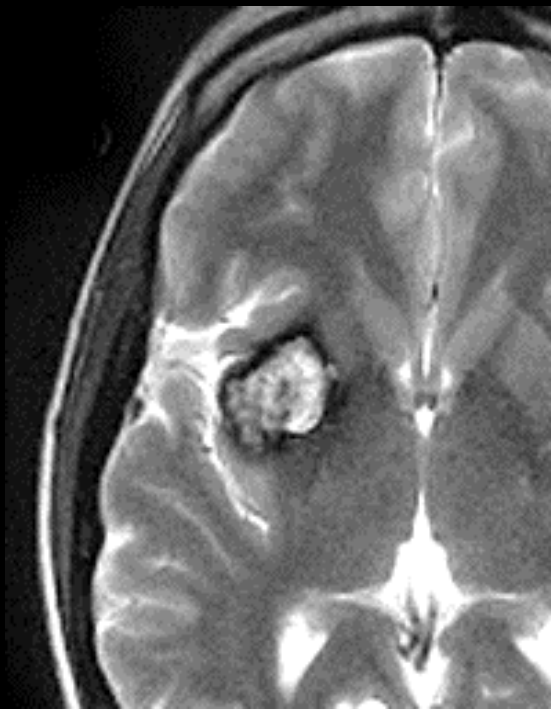
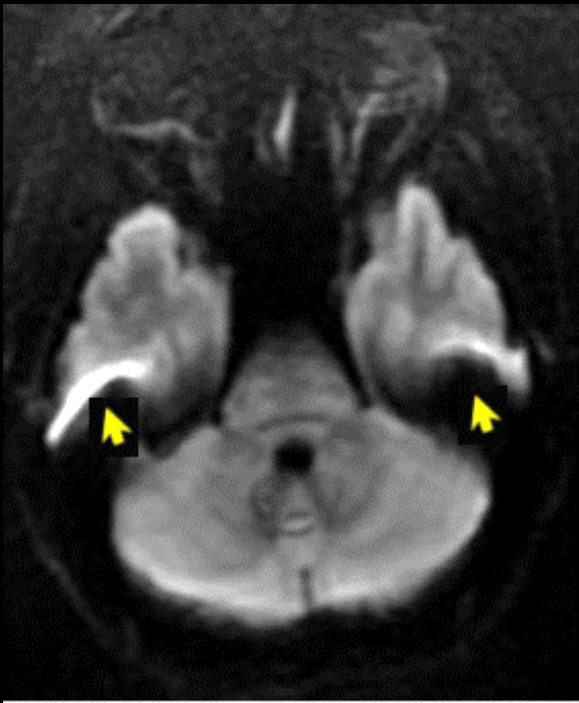
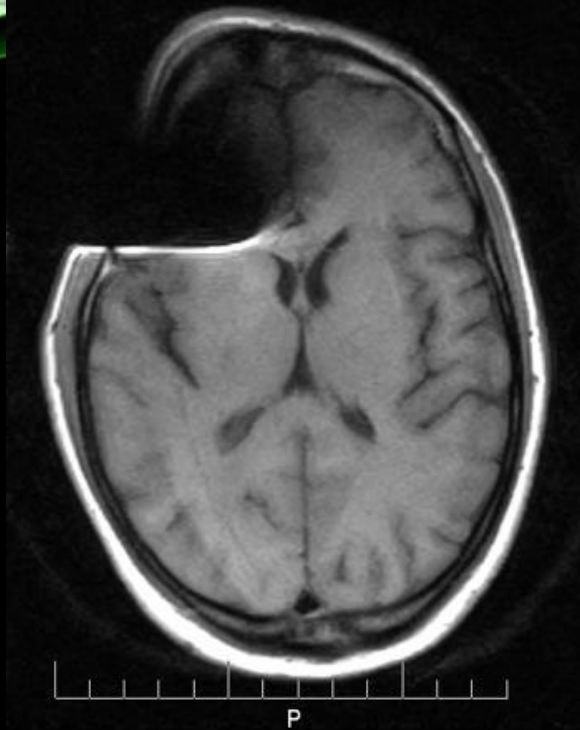
# SUPRAVOD.

- Elmag indukce + chlazení kapalným He
- $B_0 = 0,5 - 7 \text{ T}$
- Výhody:
  - Kvalita obrazu
  - Stabilita mag. pole
- Nevýhody:
  - Pořizovací náklady
  - Nelze vypnout



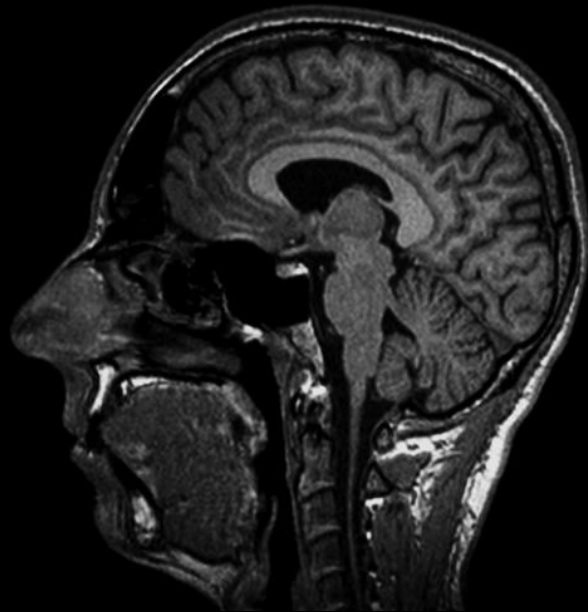
# ARTEFAKTY

- Nehomogenita  $B_0$ 
  - Špatně seřízený stroj
  - Kovový předmět
  - Rozdíl susceptibilit

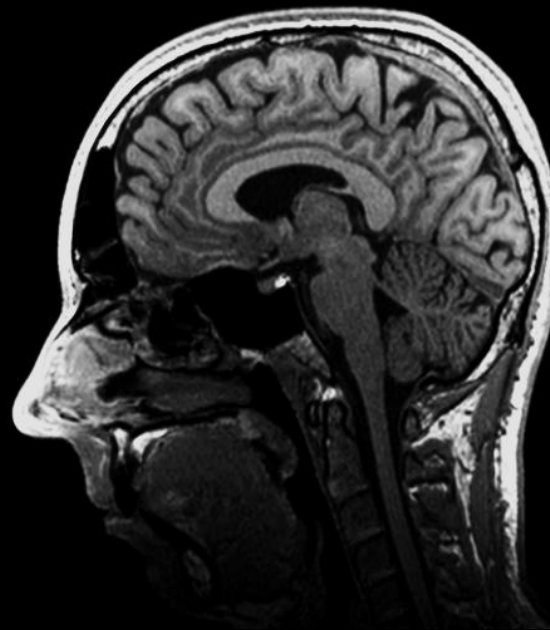


# ARTEFAKTY

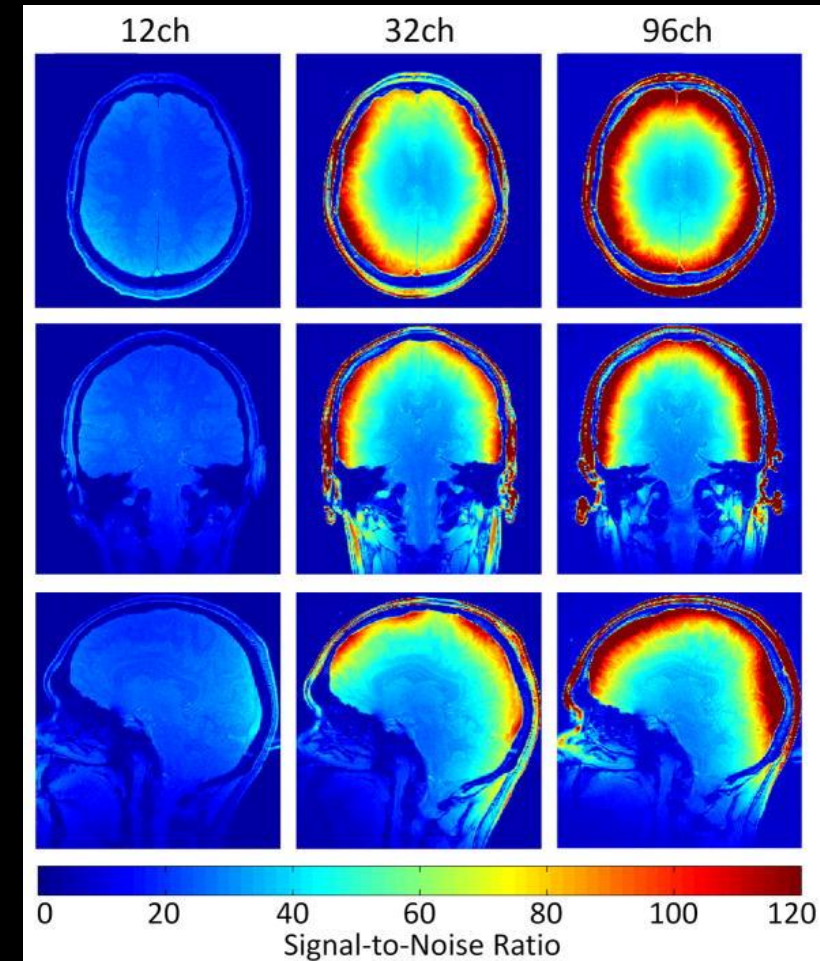
- Nehomogenita  $B_1$ 
  - Lokální nepřesnot úhlu RF pulzu
  - Nehomogenita přijímaného signálu (povrch cívky)



1 kanálová



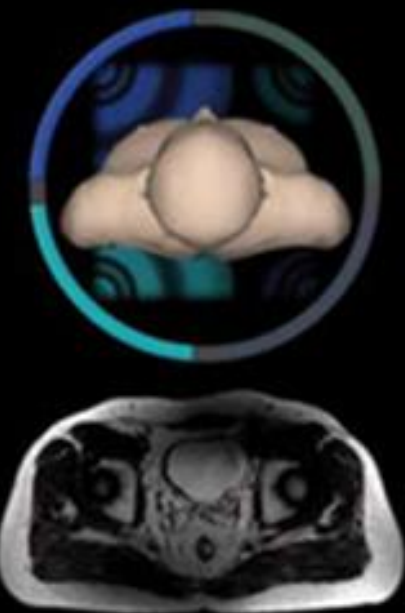
Multi-kanálová



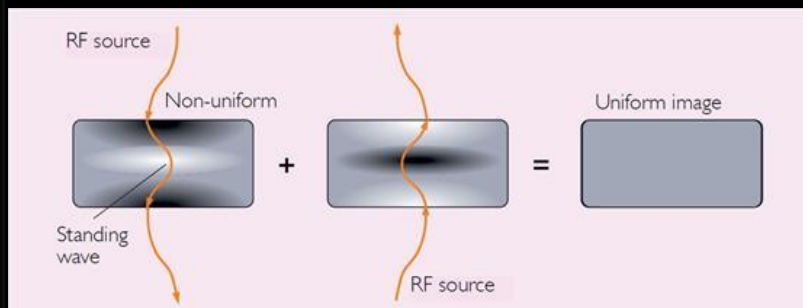
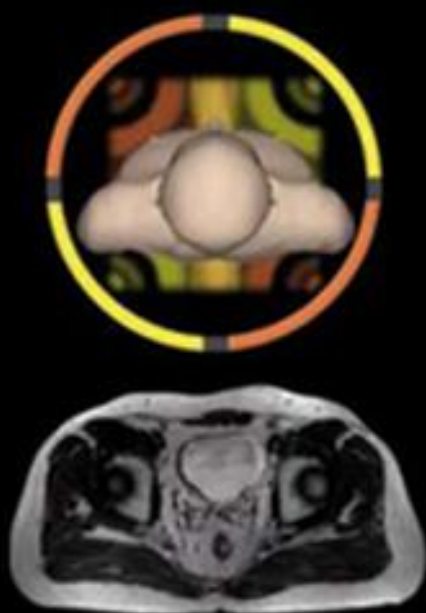
# ARTEFAKTY

- Nehomogenita  $B_1$ 
  - Dielektrický jev
  - Vlnová délka v těle  $\sim 25$  cm (3T)

Conventional



Multi Phase Transmit



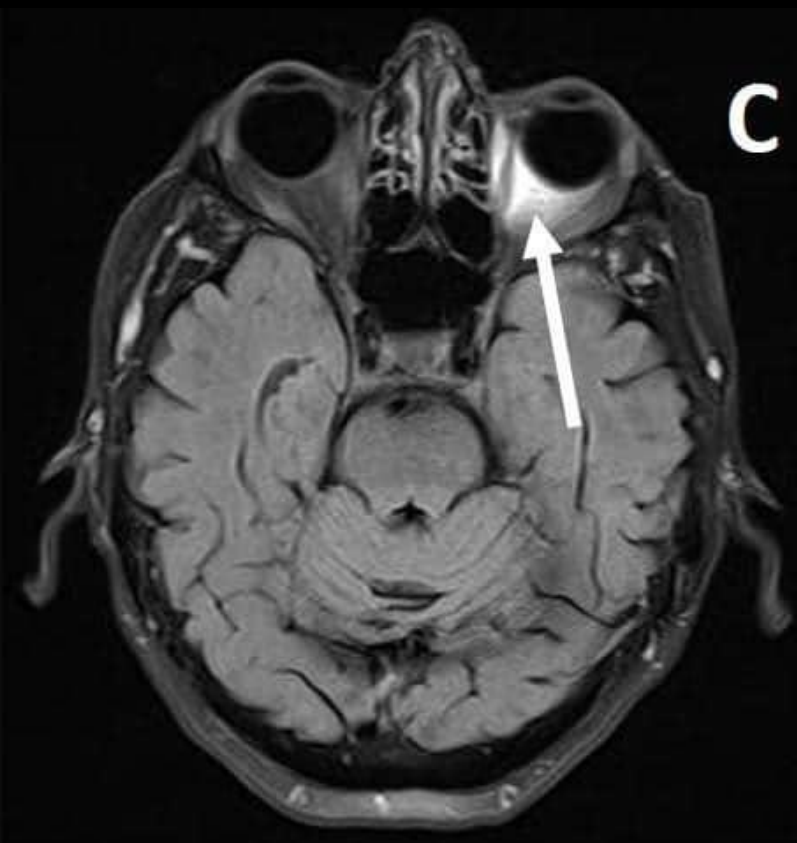
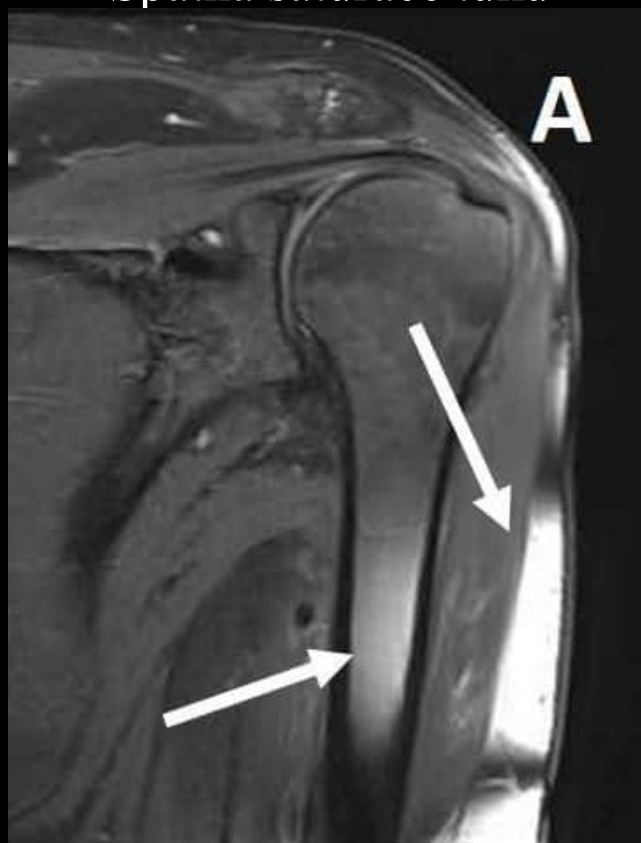
FLAIR 7T

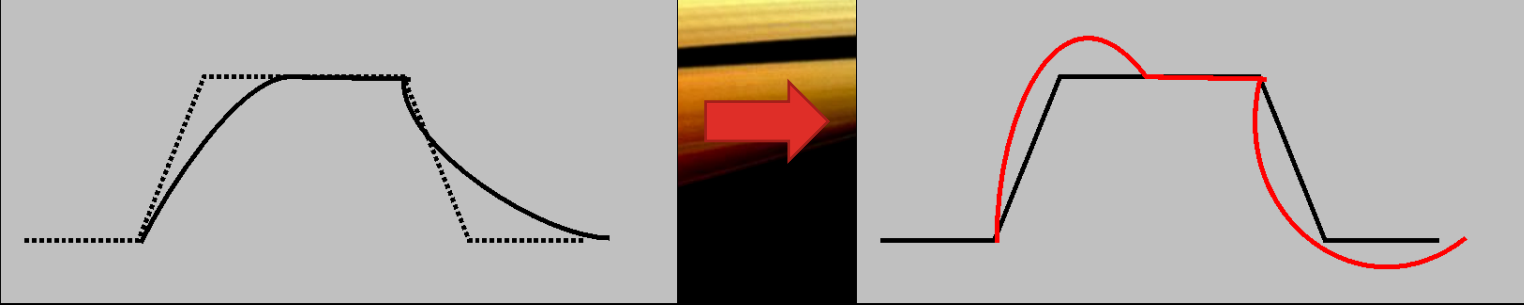




# ARTEFAKTY

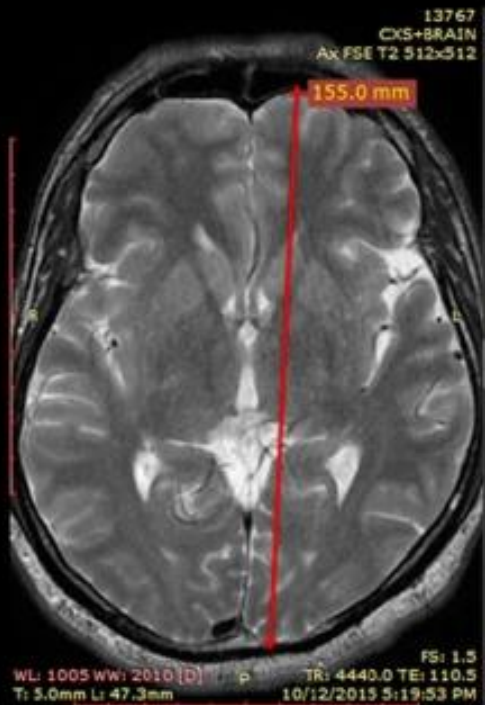
- Nehomogenita  $B_1$ 
  - Špatná saturace tuku



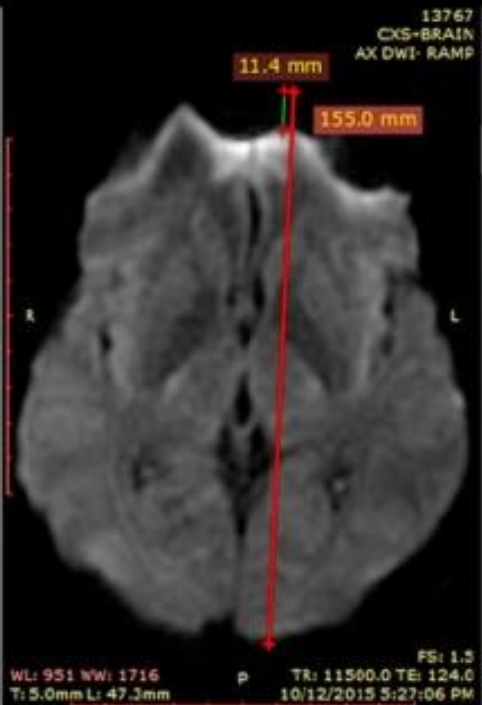


# ARTEFAKTY

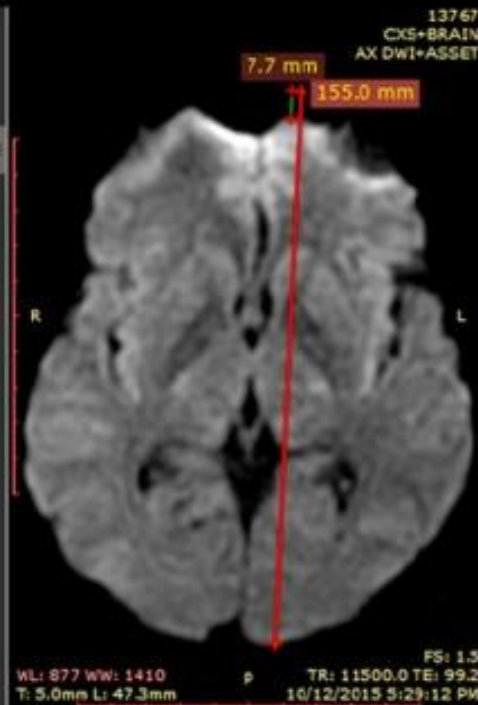
- Nedokonalost gradientů
- Geometrická distorze



A



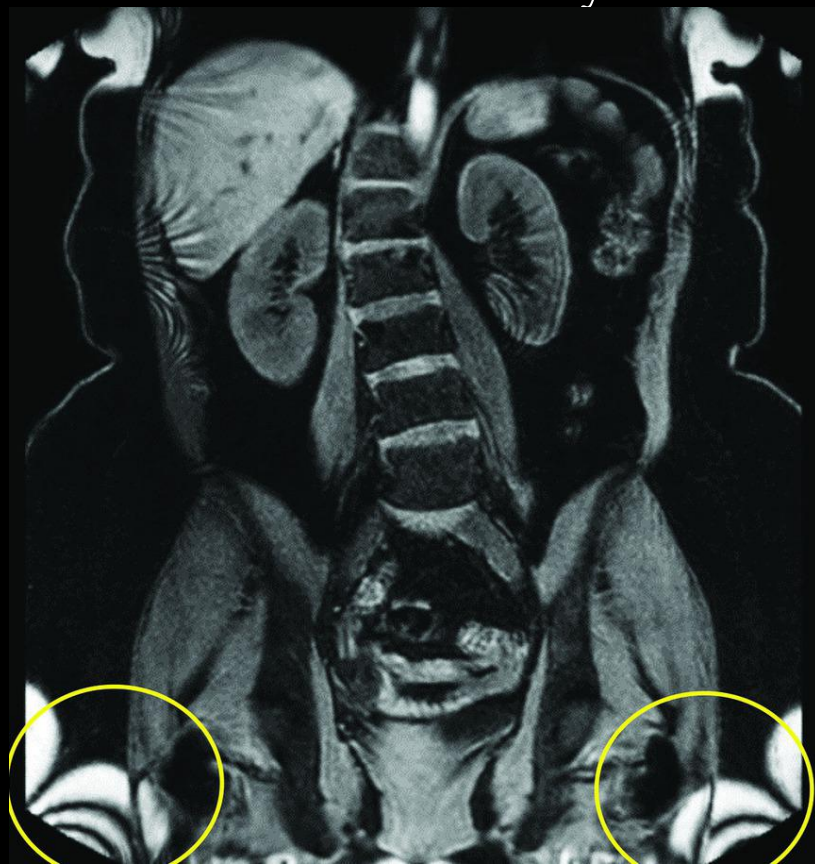
B



C

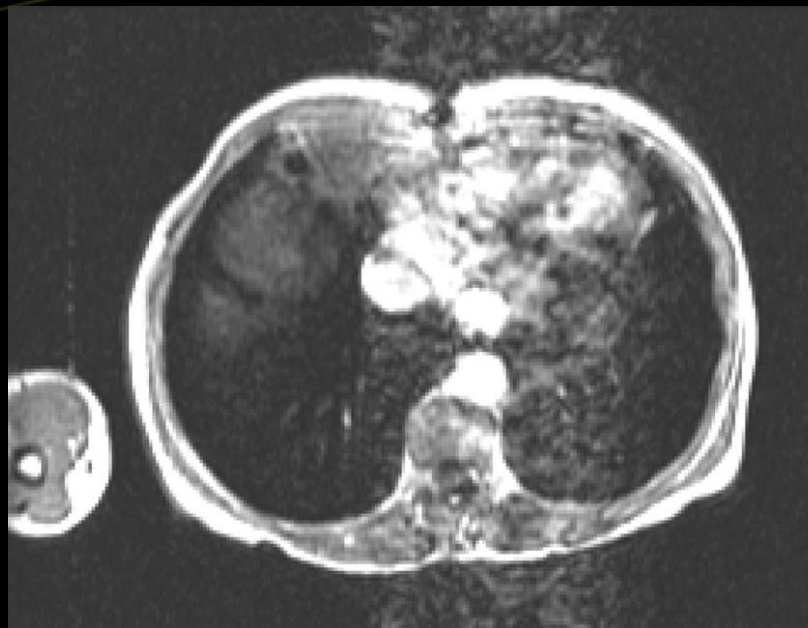


- Nedokonalost gradientů
- Kruhové artefakty

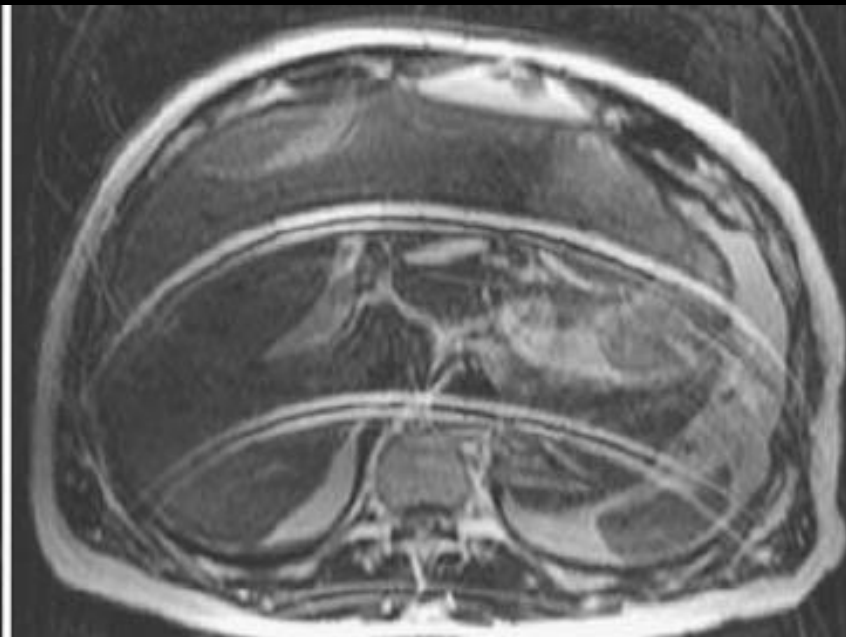
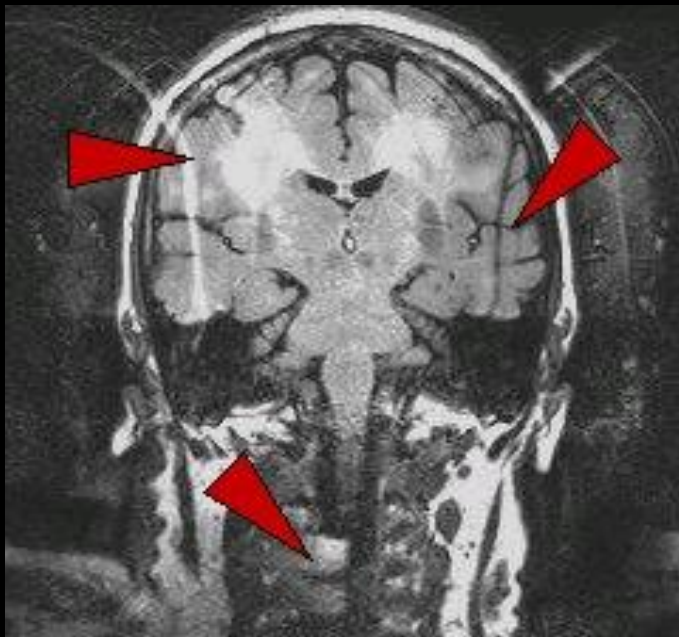


ARTEFAKTY

- Pohyb, tok
  - Špatná lokalizace fází signálu



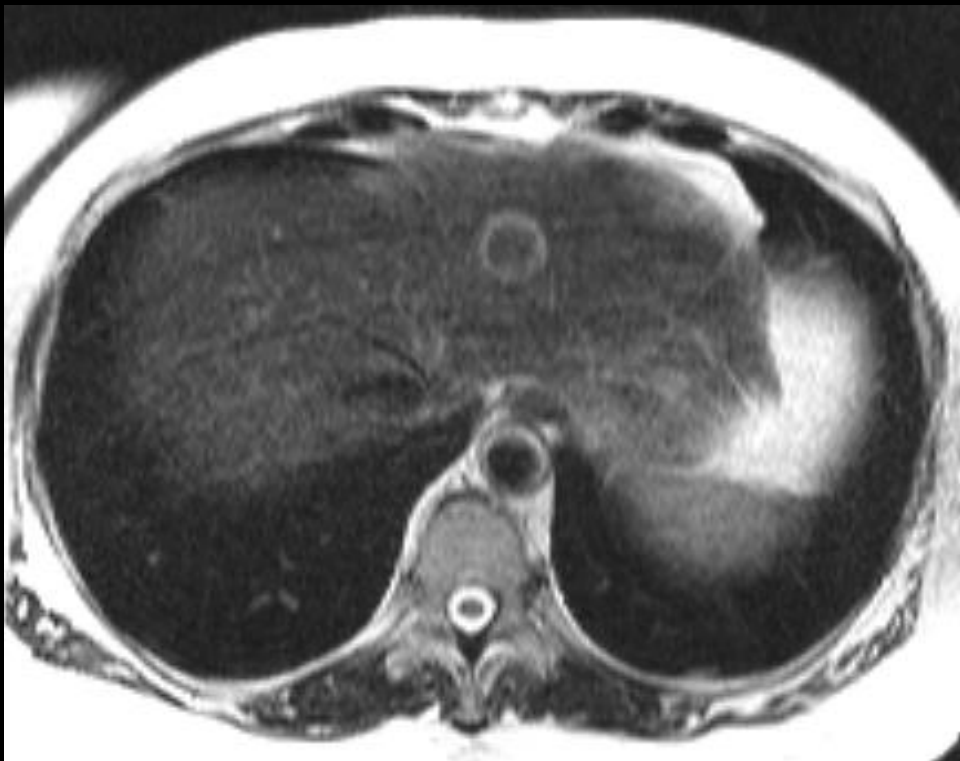
# ARTEFAKTY



- Pohyb, tok
  - Špatná lokalizace fází signálu

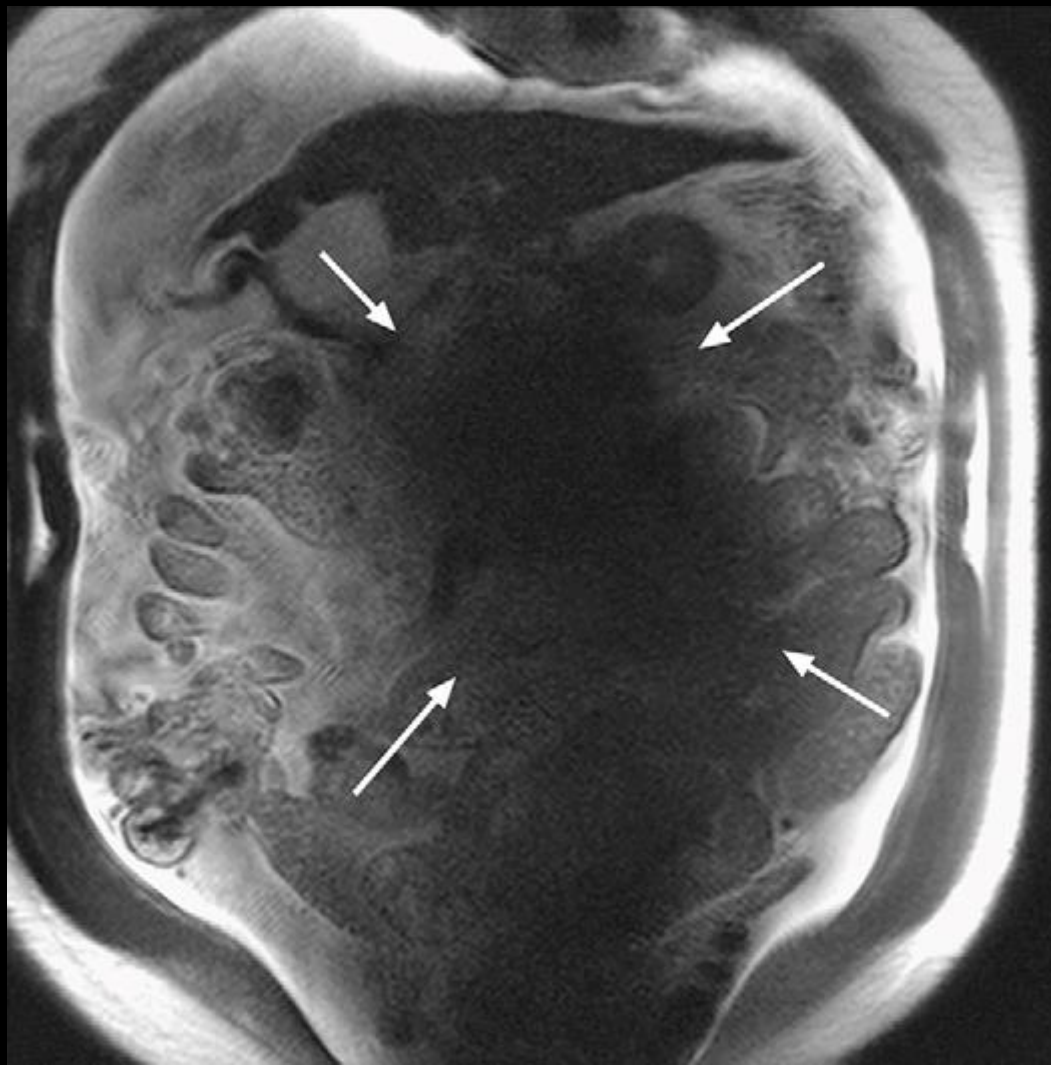
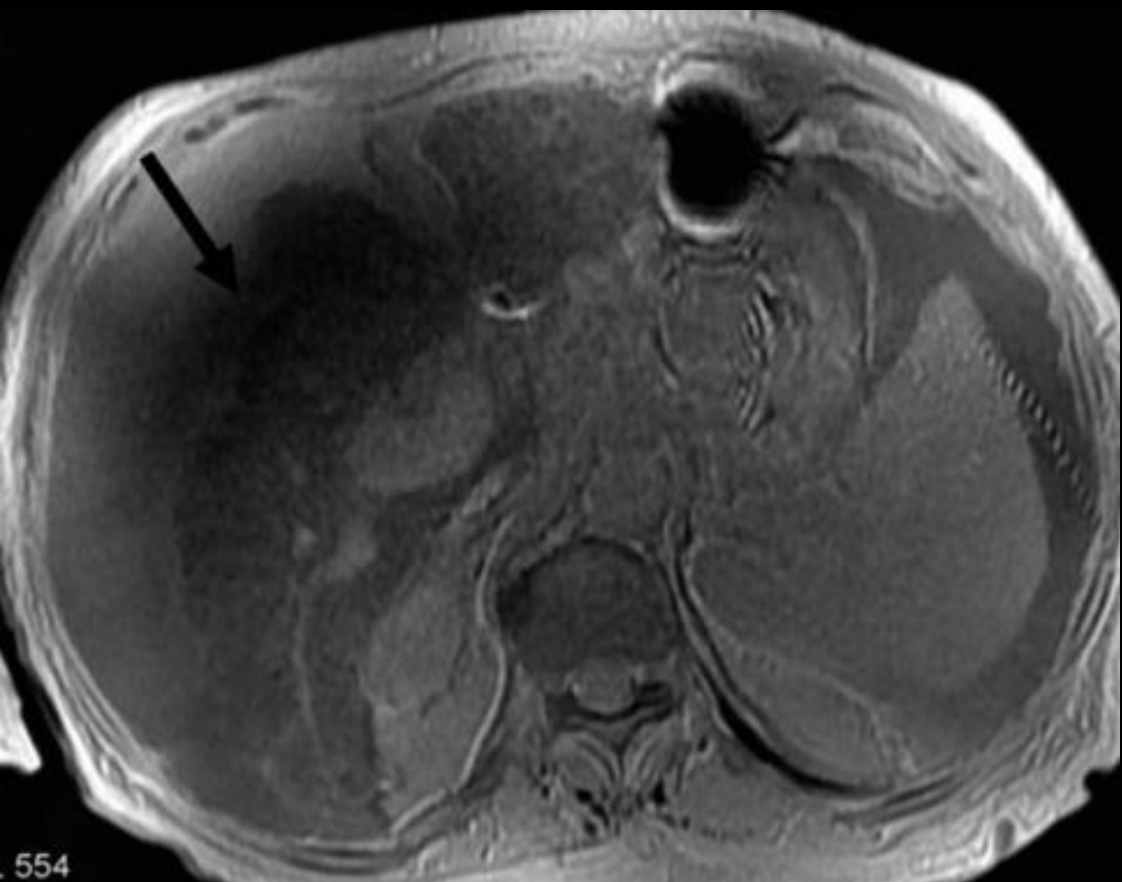


## ARTEFAKTY



# ARTEFAKTY

- Dielektrický efekt



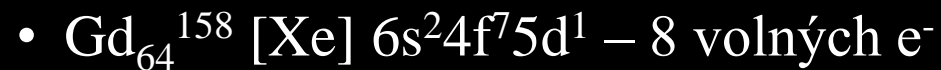
# KONTRASTNÍ LÁTKY

- Paramagnetická KL
  - Nezobrazuje se samotná látka
  - Výrazně mění  $T_1$  čas ve svém okolí (Relaxivita)
  - Oxid dusičný
  - Stabilní volné radikály
  - Kationty kovů ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Gd}^{3+}$ )
  - Relaxivita  $\sim$  koncentrace, mag.moment, vzdálenost, nepár. $e^-$

# KONTRASTNÍ LÁTKY

- Paramagnetická KL

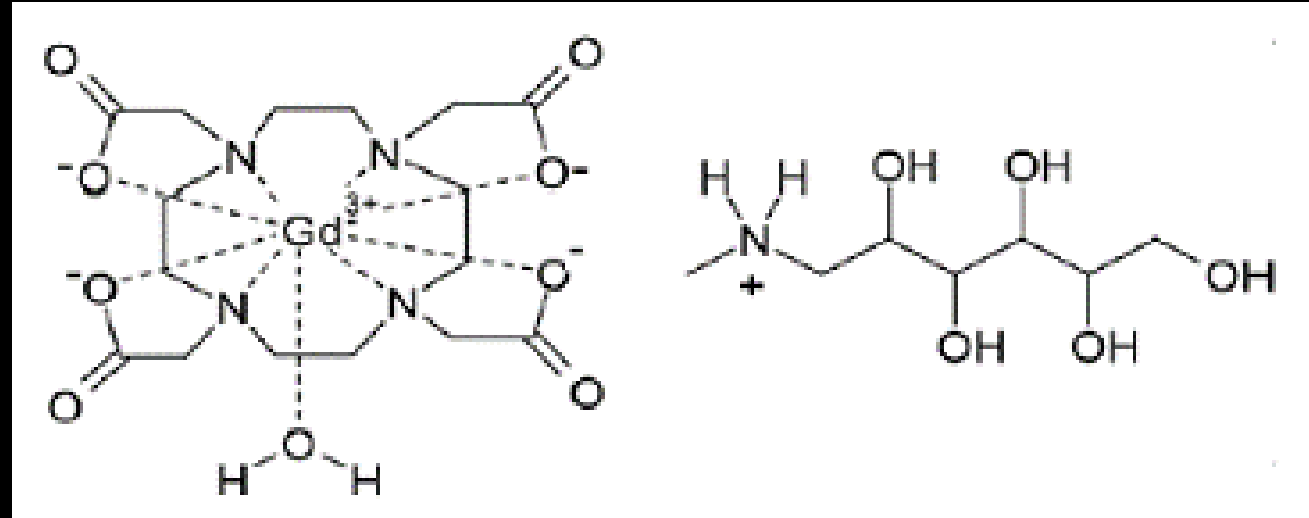
- El. Konfigurace



- Nutnost stabilně navázat na organické látky (toxicita těžkých kovů)

- Cheláty – koordinační vazby

- Např. Dotarem





# KONTRASTNÍ LÁTKY

- Přirozené KL
  - Vysoký obsah Mn (ananasový džus)

