

Metódy diagnostiky materiálov

Marcel MiGLiERiNi

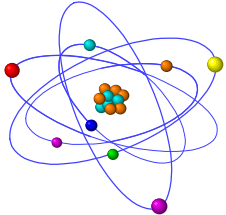
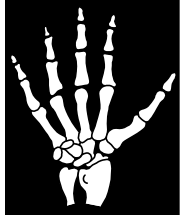
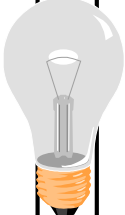

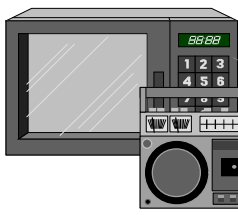
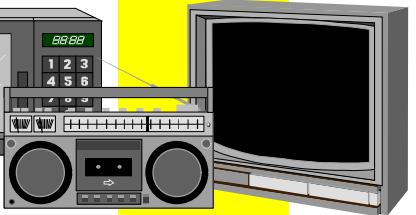
8. Zobrazovanie magnetickou rezonanciou

- princíp metódy
- spôsoby zobrazovania
- základné časti tomografu
- hazardy

Úvodné poznámky

- MRI = Magnetic Resonance Imaging
- 70te roky
- moderná diagnostická metóda umožňujúca diagnostikovať patologické zmeny v ľudskom organizme bez jeho narušenia

← viditeľné (400-700 nm)

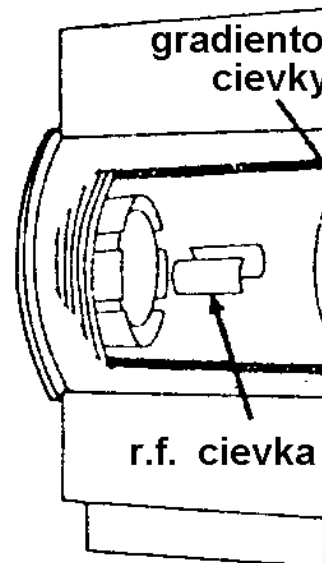
	jadrové	Röntgenové	ultra-fialové	viditeľné (400-700 nm)	infra-červené	rádiofrekvenčné		
								
λ	0.1pm	1nm	100nm		1mm	1cm	1m	1km
E	10MeV	1keV	10eV		1meV	100 μ eV	1 μ eV	1peV

Jav NMR

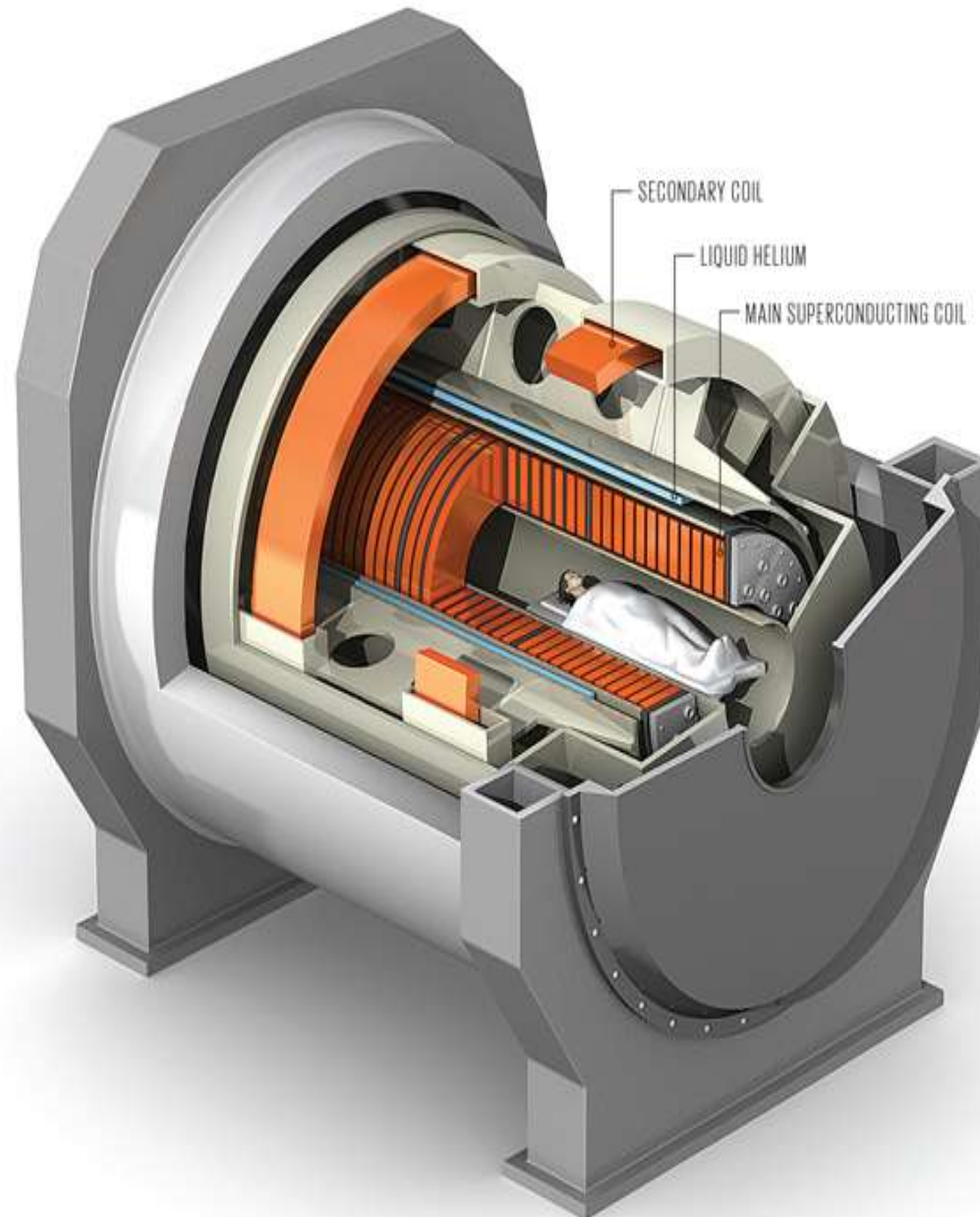
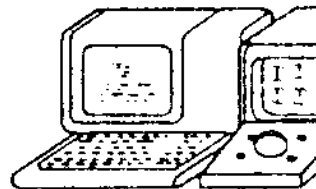
- jadrová magnetická rezonancia = **NMR** (nuclear magnetic resonance)
 - založený na magnetických vlastnostiach určitých jadier => **jadrová**
 - odohráva sa v magnetickom poli => **magnetická**
 - absorpcia energie v r.f. oblasti a jej následné vyžiarenie => **rezonancia**
- ~~jadrová~~
- magnetická rezonančná spektroskopia
- zobrazovanie magnetickou rezonanciou:
MRI (magnetic resonance imaging)
- 1974 patent na MRI

MR tomograf

supravodiv



riadenie



Základné časti MR tomografu

- magnet ($B_0 = 0.1 - 2 \text{ T}$)
 - permanentný
 - elektromagnet
 - supravodivý magnet
- gradientový systém
 - prudký nárast, stabilita, doba trvania
 - vírivé prúdy – tvar impulzu
- počítač, riadenie a komunikácia
- vysielač, prijímač, vysielačie a prijímacie cievky
 - prijímanie po ukončení excitácie => jedna cievka
 - vysielačie cievka – celotelová
 - prijímacie cievka - lokálna
- dokumentačné a prídavné zariadenia
- napájanie



MRI prístroj



Princíp činnosti

- jadrový spin $I \neq 0 \rightarrow$ magnetický moment μ
- gyromagnetický pomer γ
- vonkajšie magnetické pole $B_0 \rightarrow$ orientácia mag. momentov
- vysokofrekvenčné magnetické pole B_1 kolmé na konšt. B_0
- Larmorova frekvencia

$$\gamma = \frac{\mu}{I}$$

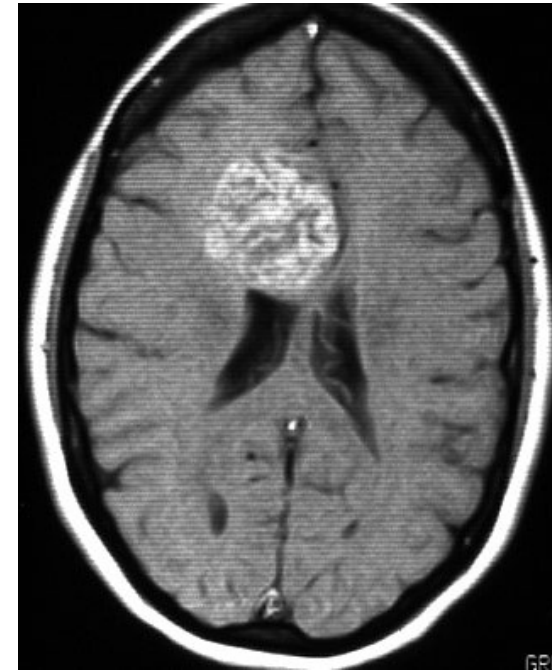
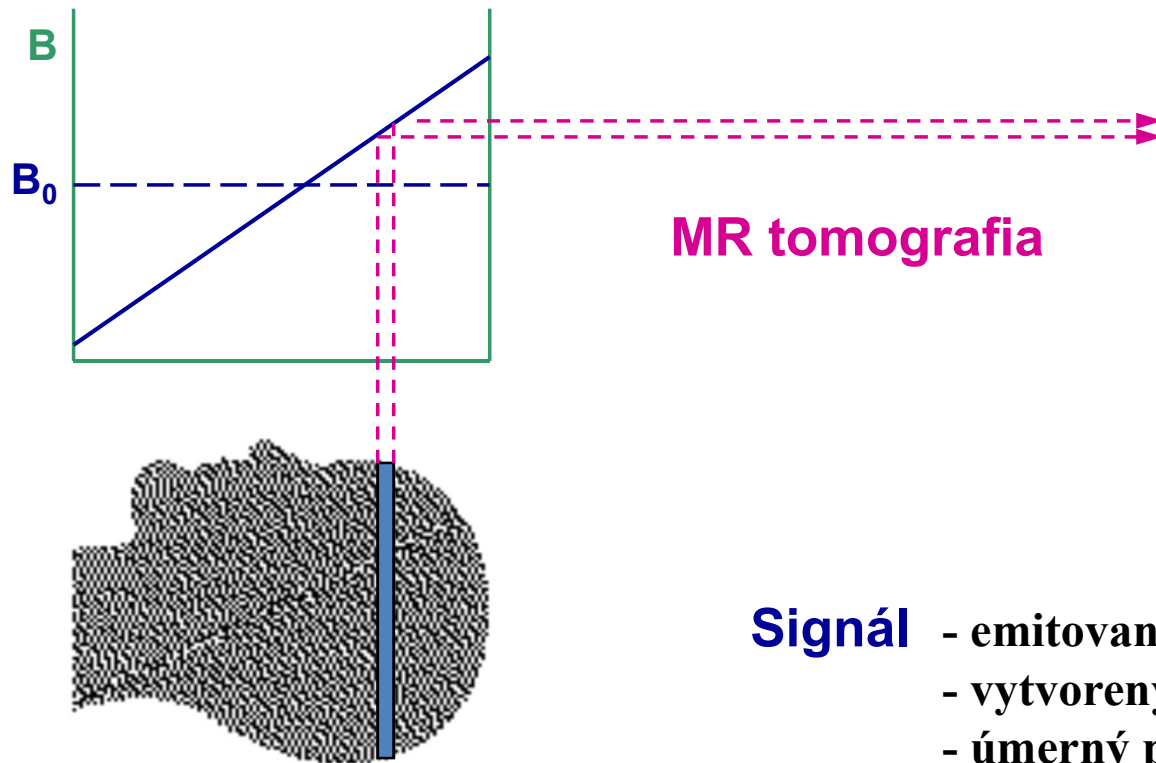
$$\nu_0 = \frac{\gamma \cdot B_0}{2\pi}$$

- vloženie pacienta do veľmi silného a homogénneho magnetického poľa, kde sa do jeho tela vyšle krátky rádiový impulz a po jeho skončení sa sníma slabý signál, ktorý vytvára pacientovo telo, a ktorým sa následne rekonštruuje jeho samotný obraz

Vlastnosti niektorých jadier

jadro	spin	γ (MHz/T)	frekvencia (MHz@1.5T)	citlivosť ku ^1H	výskyt (%)	
					v prírode	v tkanive
^1H	1/2	42.57	63.87	1.00	99.98	voda: 100 metabolit: 0.02
^2D	1	6.54	9.80	0.0097	0.015	voda: 100 metabolit: 0.02
^{12}C	0	-	bez signálu	-	98.89	100
^{13}C	1/2	10.71	16.06	0.016	1.11	voda: 100 metabolit: 0.05
^{16}O	0	-	bez signálu	-	99.96	50
^{17}O	5/2	3.63	8.66	0.0291	0.037	50
^{19}F	1/2	40.05	60.08	0.83	100	0.001
^{31}P	1/2	17.12	25.85	0.066	100	0.1
^{39}K	3/2	1.99	2.98	0.0005	93.1	0.05

Zobrazovanie pomocou MR



- Signál**
- emitovaný skúmaným objektom
 - vytvorený r.f. a magnetickým poľom
 - úmerný počtu vodíkových jadier (^1H)
 - priestorovo kódovaný

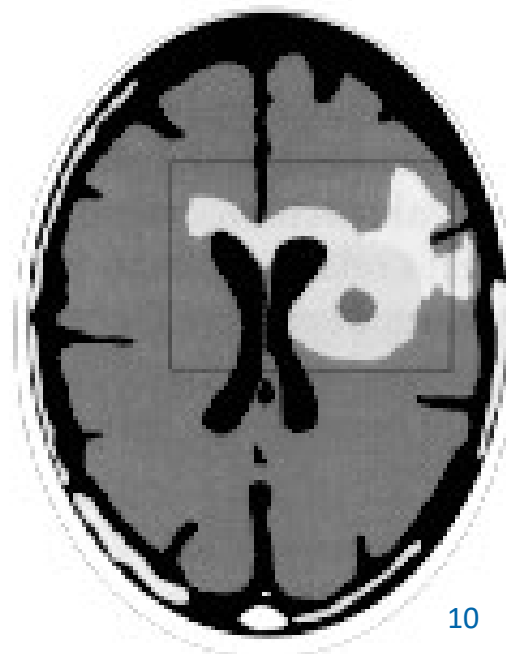
Pohyblivé orgány - pľúca, srdce, krv (**angiografia**)

Obrazy - 2D, 3D

Výhody MRI

- enormne široký kontrast pre zobrazenie mäkkých tkanív v porovnaní s rtg. technikami
- možnosť zobrazíť ktorúkoľvek rovinu
- výborné priestorové rozlíšenie
- zlepšujúce sa časové rozlíšenie
- neinvazívna technika (žiadne ionizujúce žiarenie)
- nie je potrebná žiadna kontrastná látka na zobrazenie krvného riečišťa

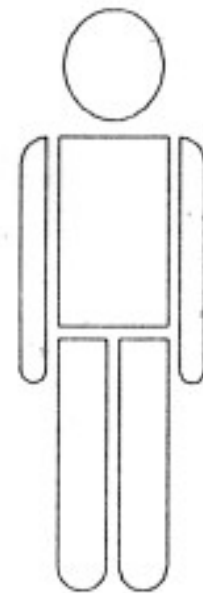
- interpretácia obrazu
 - abnormality v morfológii
 - abnormality v intenzite signálu



Tvorba obrazu

- zobrazovanie
 - lokalizácia vyšetrovaných spinov
 - excitácia vybraných spinov
 - priestorové kódovanie ich signálu
 - detekcia a rekonštrukcia signálu

- digitálizácia
 - picture element = pixel
 - volume element = voxel



objekt

=

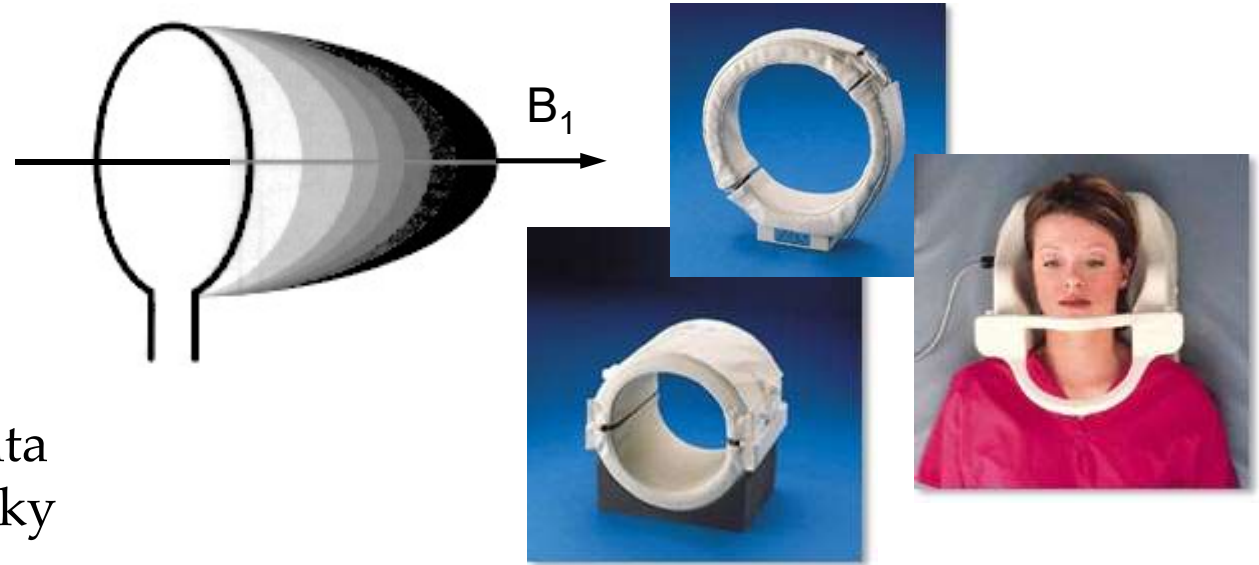


objekt vo
voxeloch



objekt v
pixeloch

Zobrazovanie



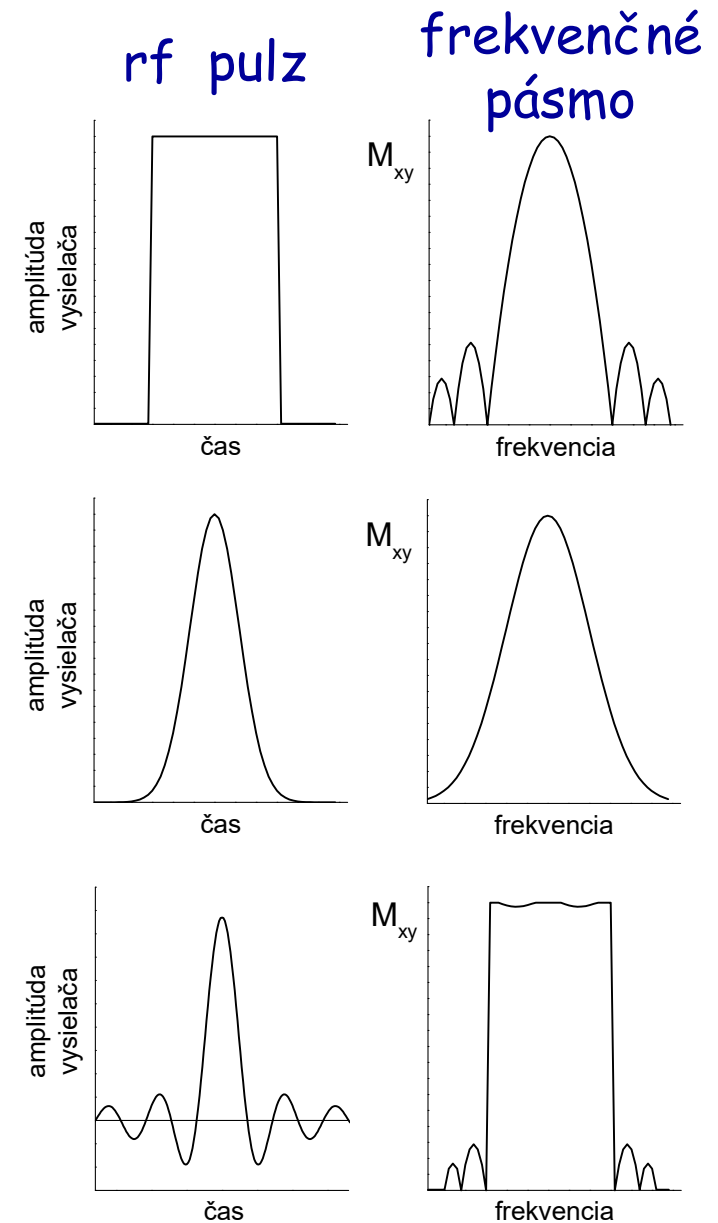
- lokalizácia spinov
 - pozicionovanie pacienta
 - voľba snímacej cievky

- selekcia a excitácia vrstvy
 - excitácia po vrstvách
 - hrúbku vrstvy ovplyvňuje gradient magnetického poľa a dĺžka excitačného pulzu

- priestorové kódovanie signálu
 - frekvenčné kódovanie
 - fázové kódovanie

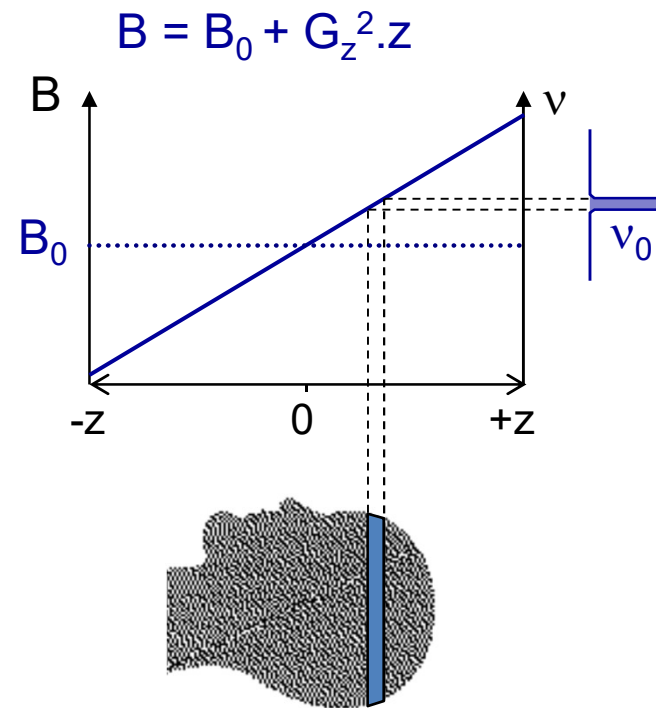
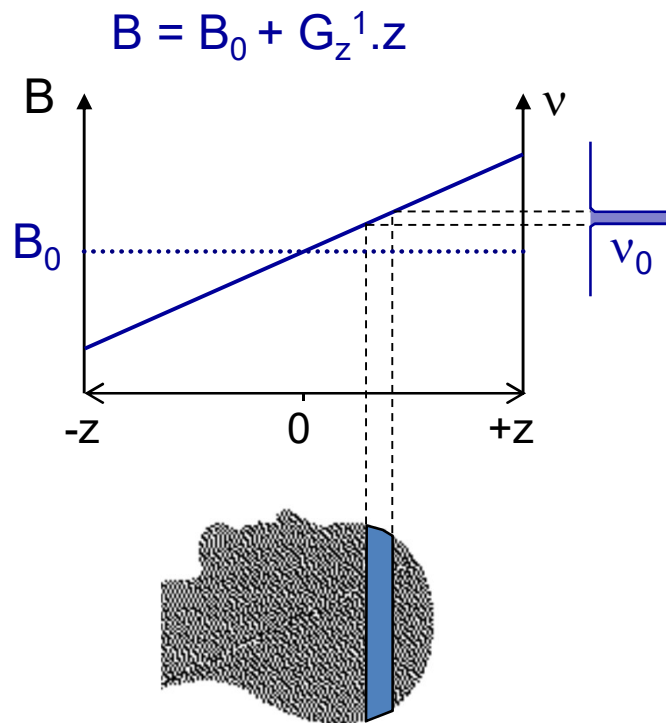
Výber a excitácia vrstvy

- excitácia po vrstvách
 - šírka a tvar excitovaného frekvenčného pásma závisia od dĺžky a tvaru excitačného pulzu
 - výber vrstvy pomocou zapnutého gradientu
 - hrúbka excitovanej vrstvy závisí na:
 - dobe trvania pulzu, t.j. na šírke frekvenčného pásma
 - veľkosti gradientu poľa, t.j. veľkosti zmeny rezonančnej frekvencie s polohou



Šírka excitovanej vrstvy

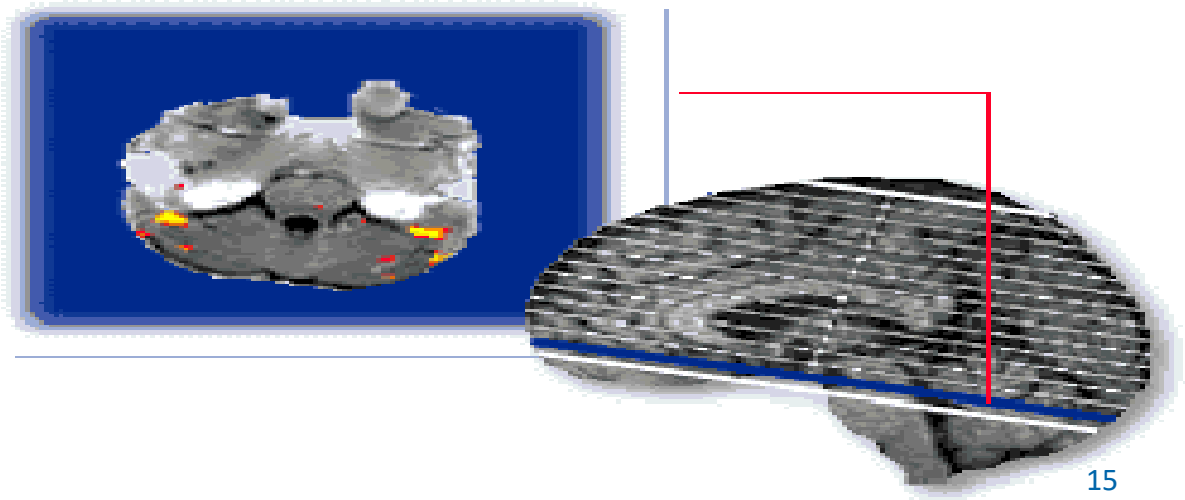
- sklon (veľkosť) gradientu



$$G_z^1 < G_z^2$$

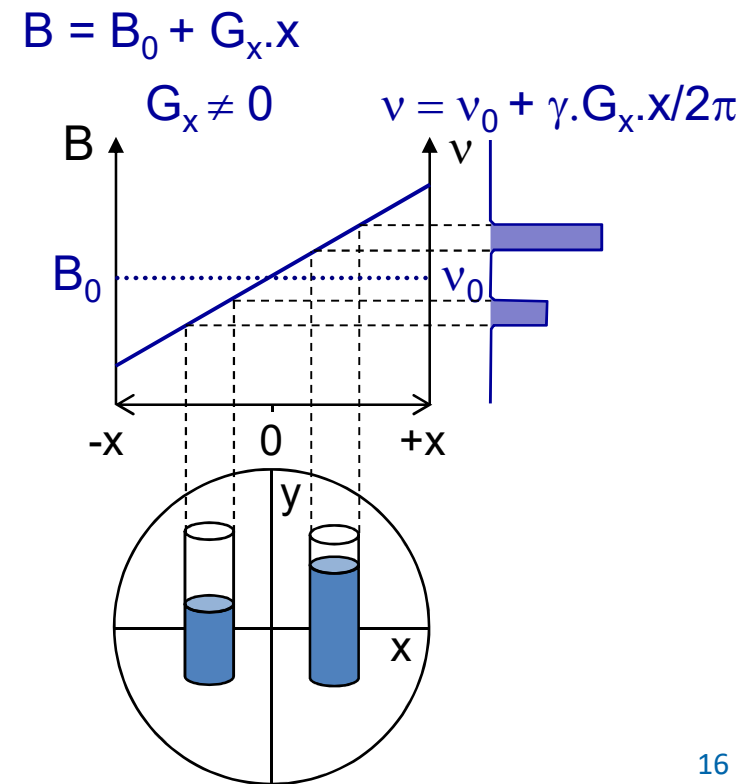
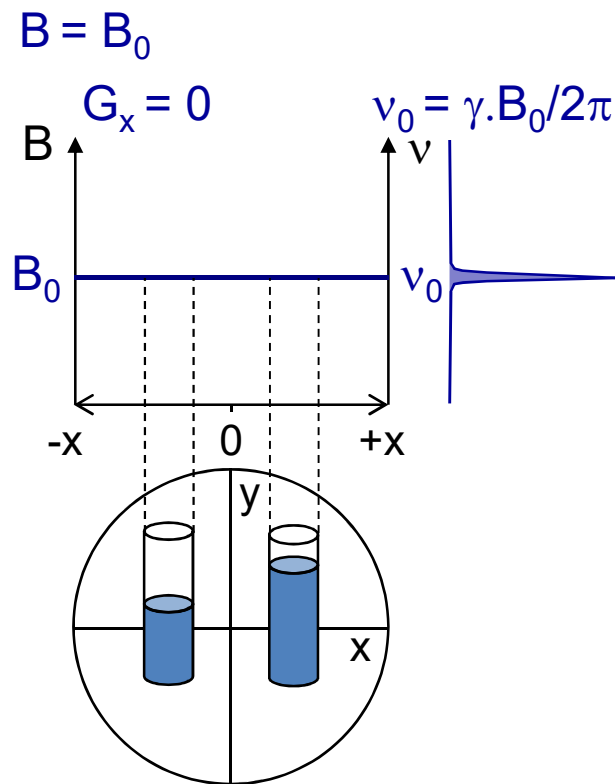
Zobrazovanie

- lokalizácia spinov
 - pozicionovanie pacienta
 - voľba snímacej cievky
- selekcia a excitácia vrstvy
 - excitácia po vrstvách
 - hrúbku vrstvy ovplyvňuje gradient magnetického poľa a dĺžka excitačného pulzu
- priestorové kódovanie signálu
 - frekvenčné kódovanie
 - fázové kódovanie



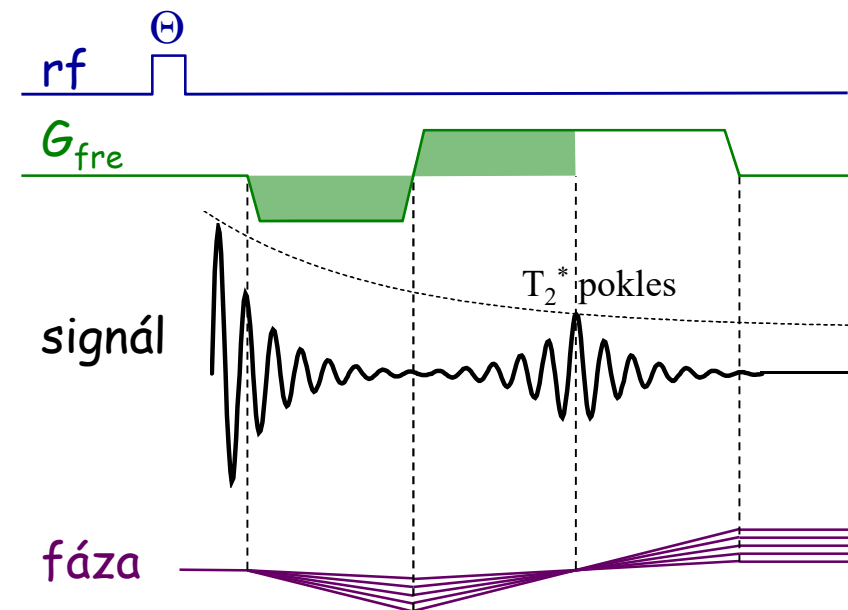
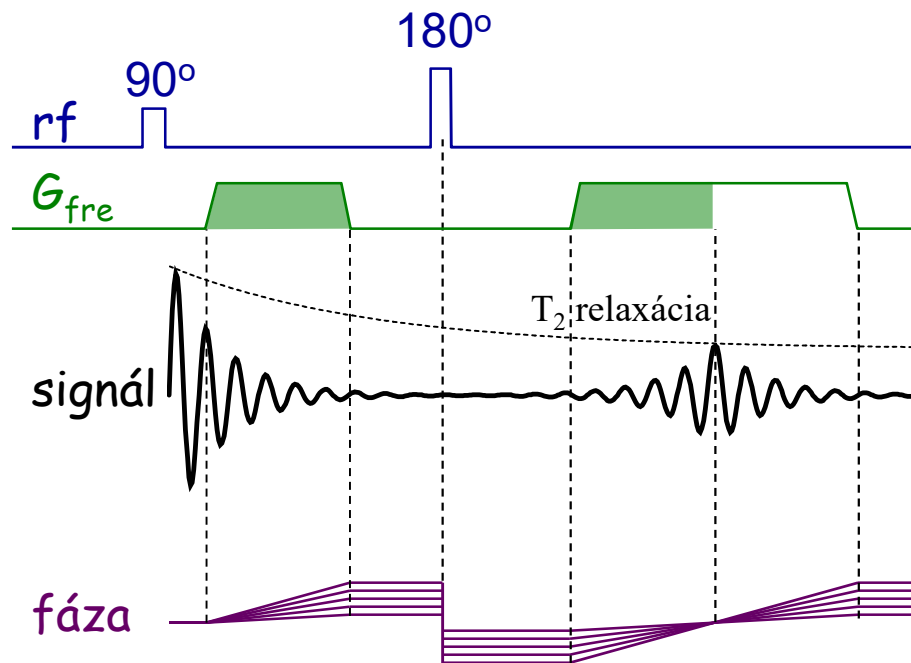
Frekvenčné kódovanie

- pri zapnutom gradiente G je rezonančná frekvencia jadier závislá od ich polohy
- realizuje sa počas snímania signálu



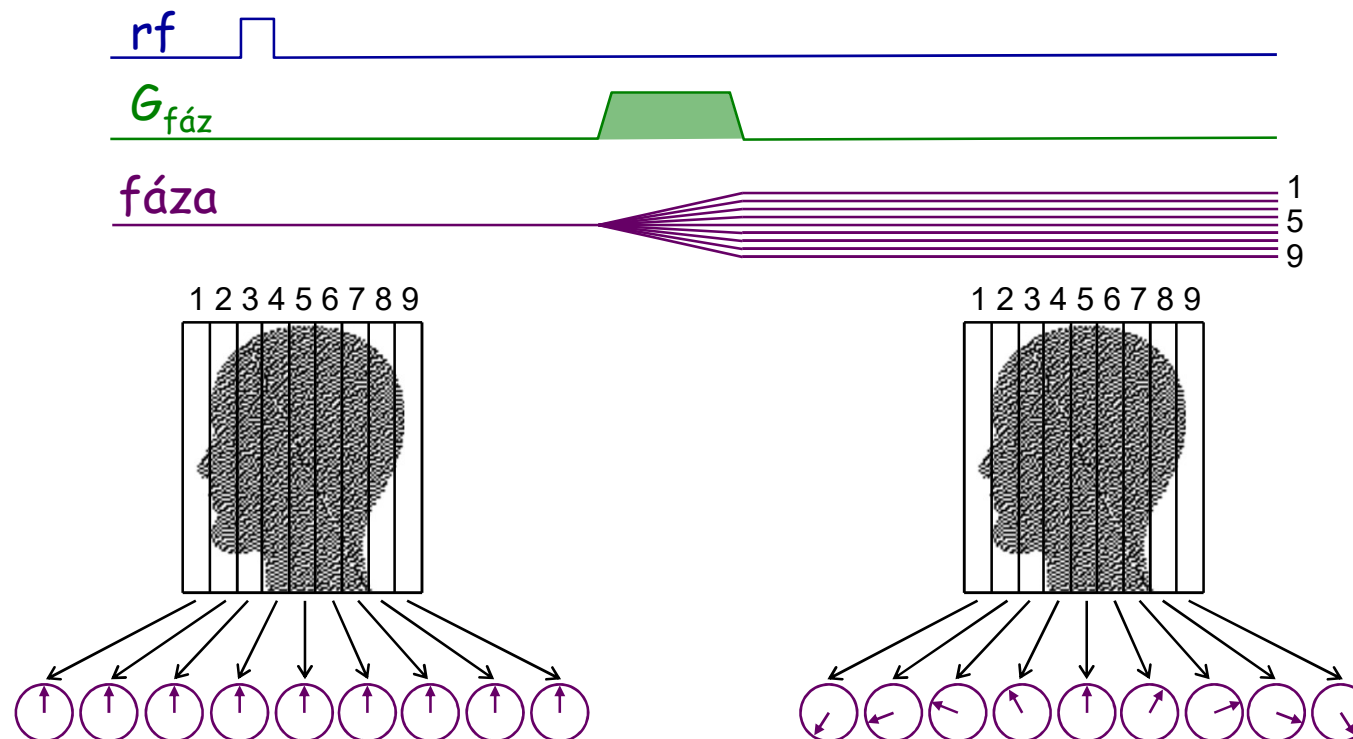
Gradientové echo

- gradient spôsobuje aj stratu koherencie
 - obnovenie echa počas gradientu
 - kompenzácia nehomogenít poľa aj gradientu – T_2 relaxácia
 - zmena polarity gradientu po $\Theta \neq 180^\circ$ pulze \Rightarrow **gradientové echo**
 - nekompenzuje nehomogenity poľa, len gradient – T_2^* pokles



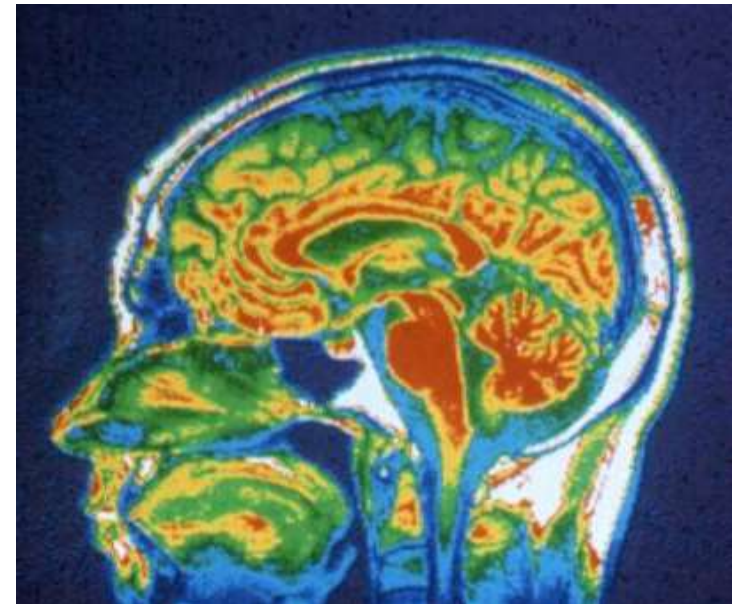
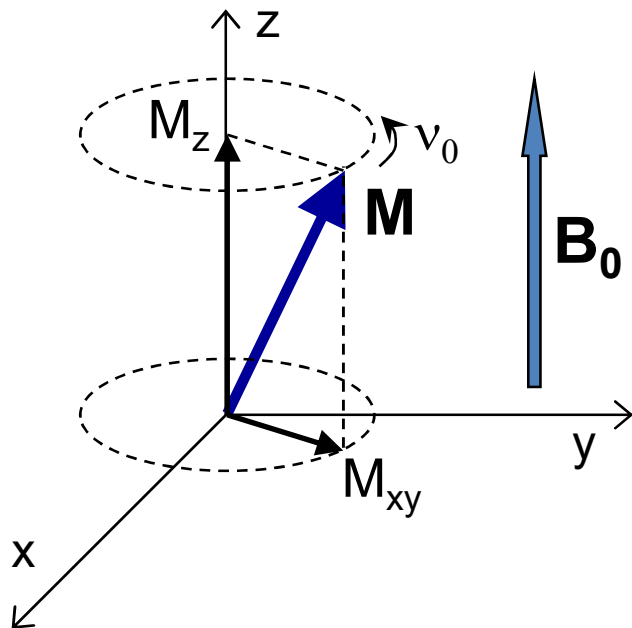
Fázové kódovanie

- priestorové kódovanie fázami zložiek magnetizácie
- realizuje sa medzi excitáciou jadier a snímaním signálu
- na získanie n pixelov v smere kódovania treba n meraní



Kontrast obrazu

- opakovací čas TR a čas echa TE
- obraz vážený hustotou protónov => krátke TE, dlhé TR
- T_1 vážený obraz => krátke TE, krátke TR
- T_2 vážený obraz => dlhé TE, dlhé TR



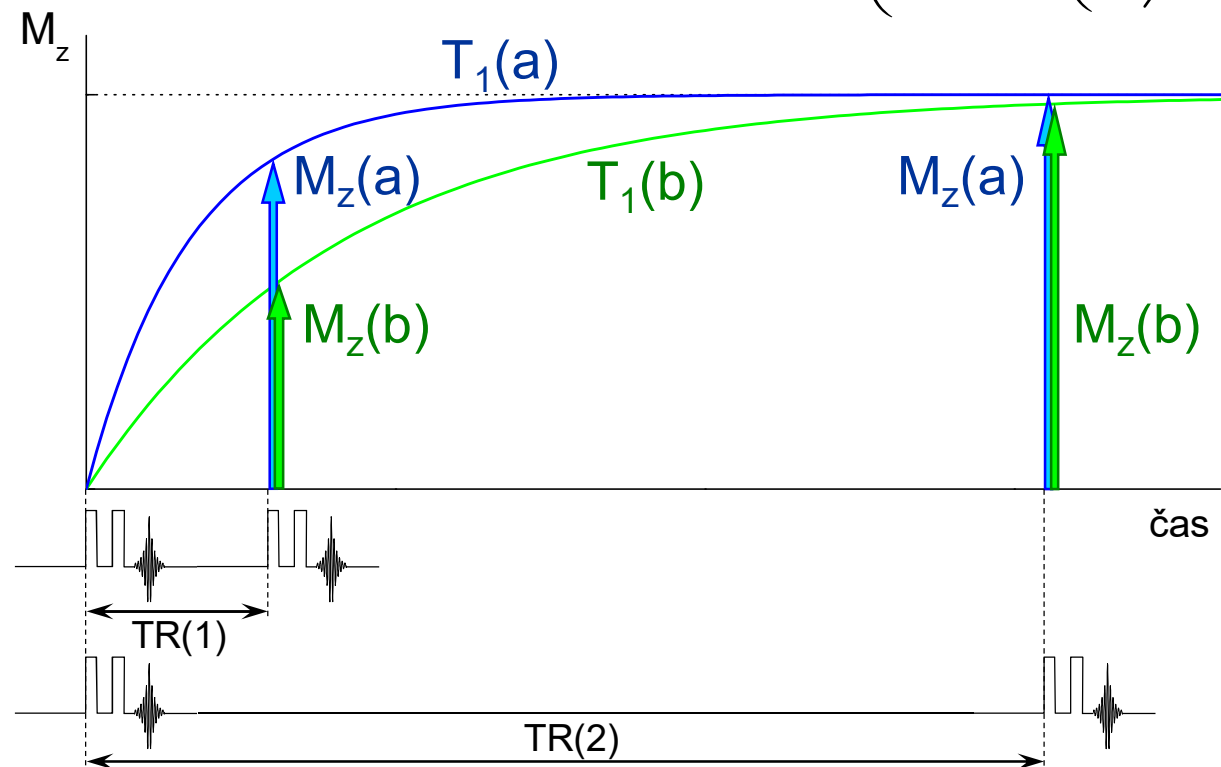
T₁ vážený obraz

spin-mriežková relaxácia

- signál je úmerný M_z
 - rýchla relaxácia T₁(a) – intenzívny signál M_z(a) pri krátkom opakovanom čase TR(1)

$$M_z = M_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right)$$

- krátke TE
- krátke TR

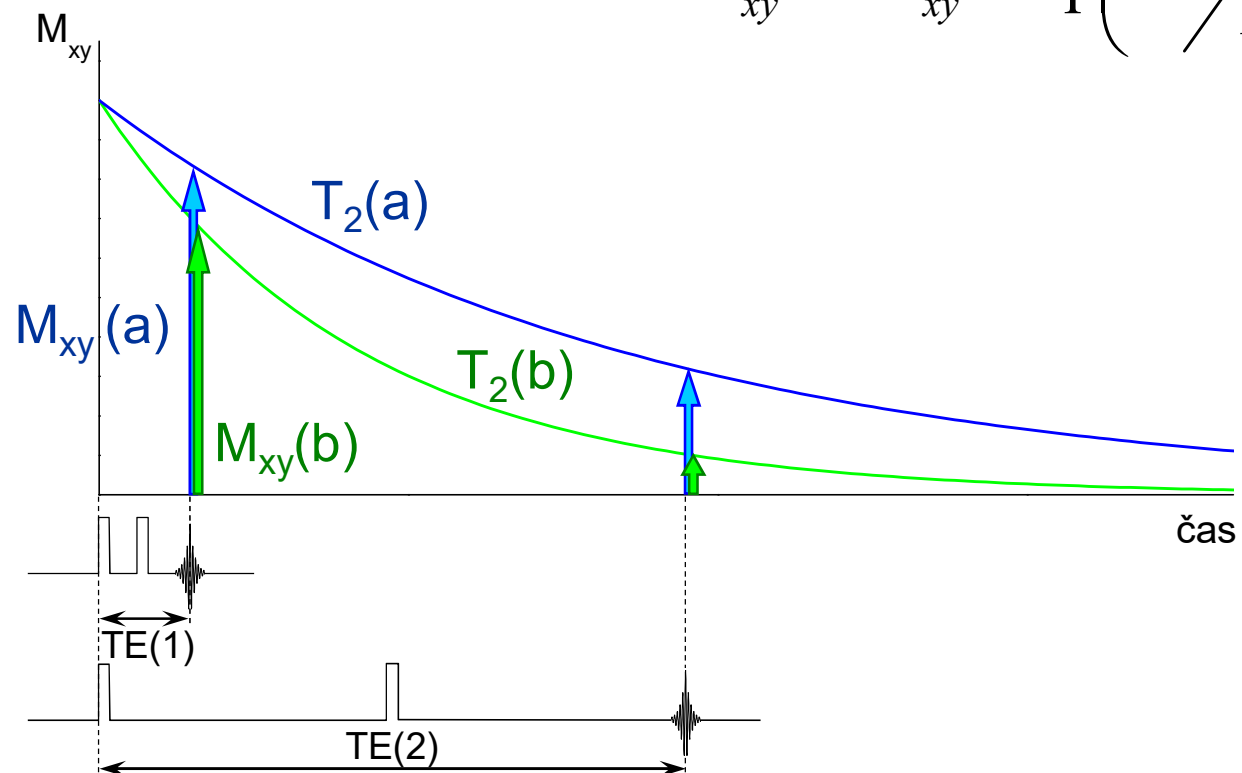


T₂ vážený obraz

spin-spinová relaxácia

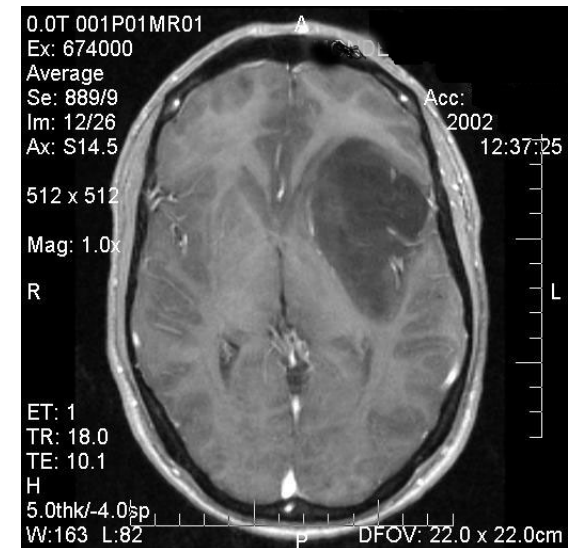
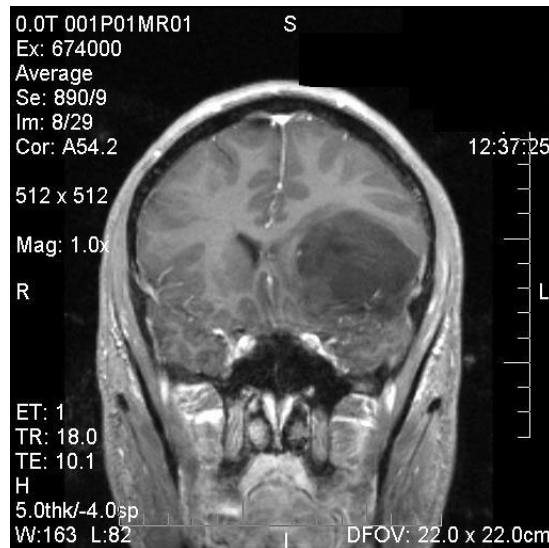
- pri krátkych TE a TR je rozdiel v priečných relaxáciách nevýrazný, t.j. signál nie je ovplyvnený T₂
- dlhé TE
dlhé TR

$$M_{xy} = M_{xy}^0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right)$$

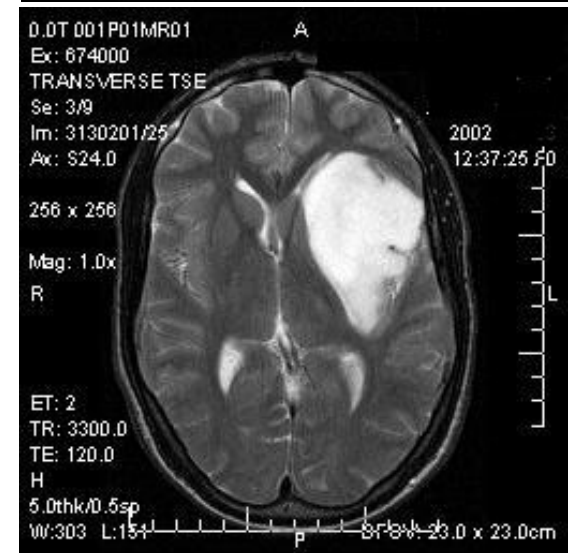
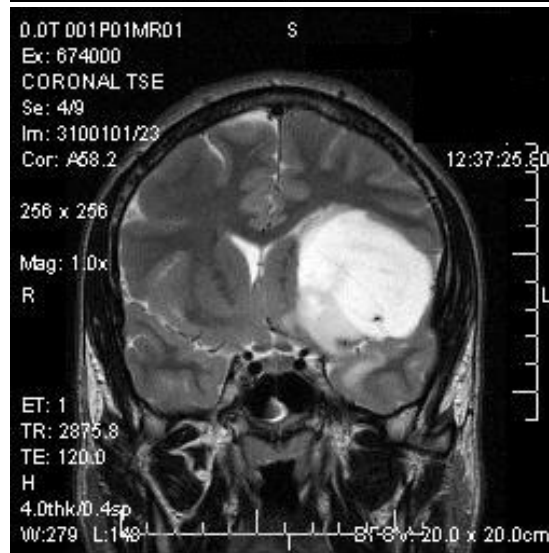


Príklady

T₁ vážený obraz

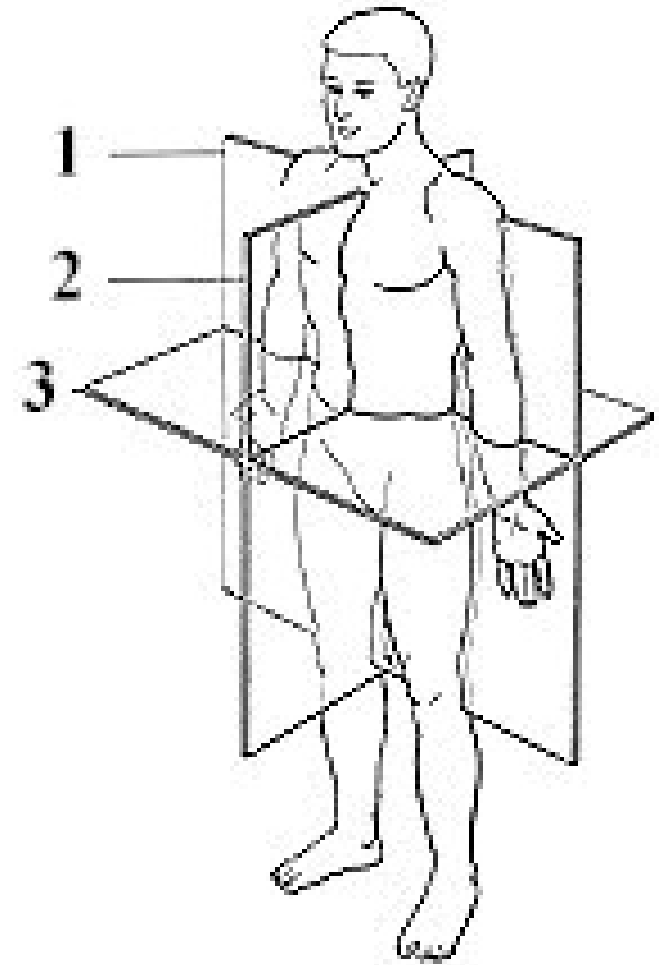


T₂ vážený obraz

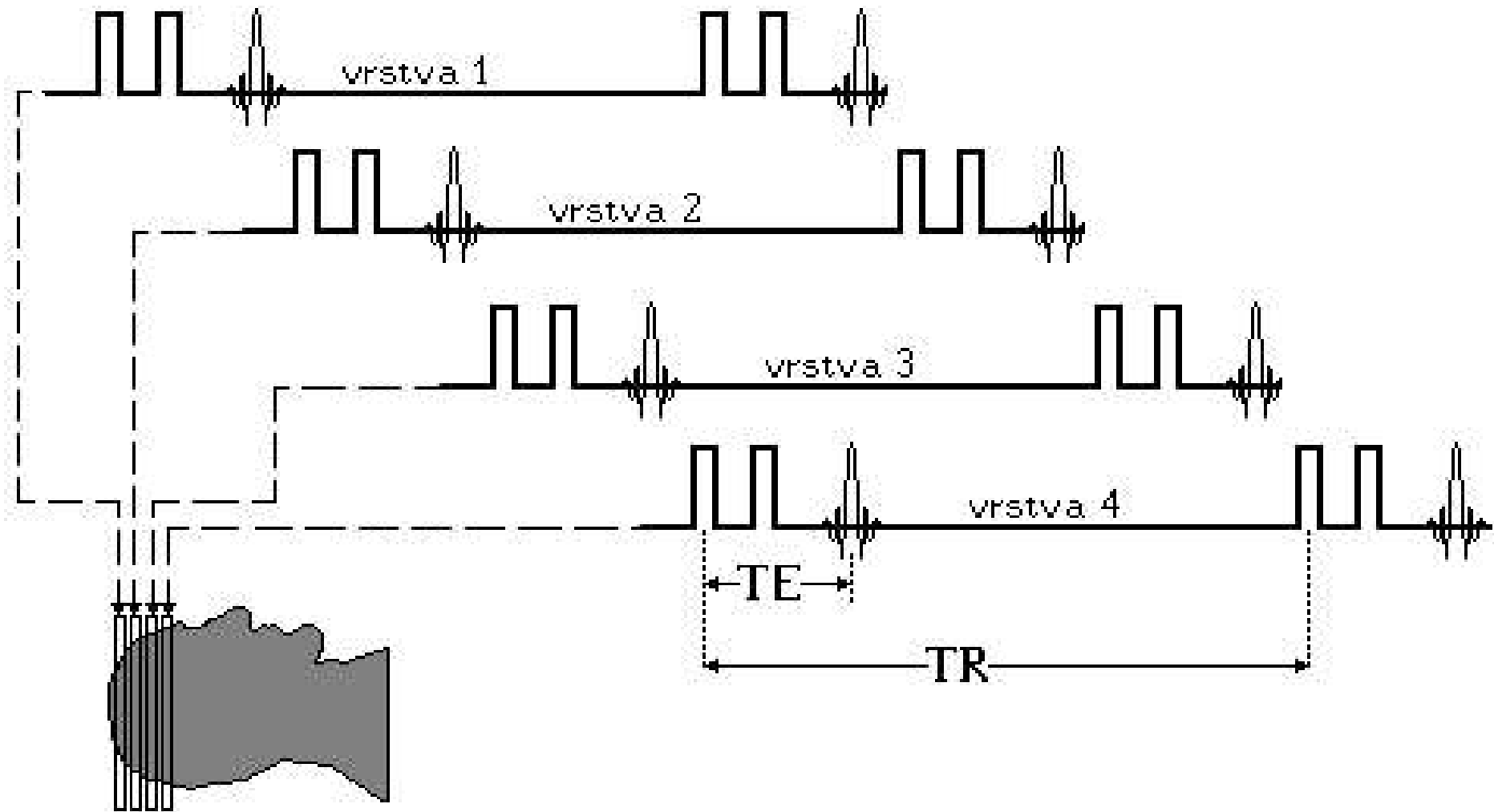


2D zobrazovanie

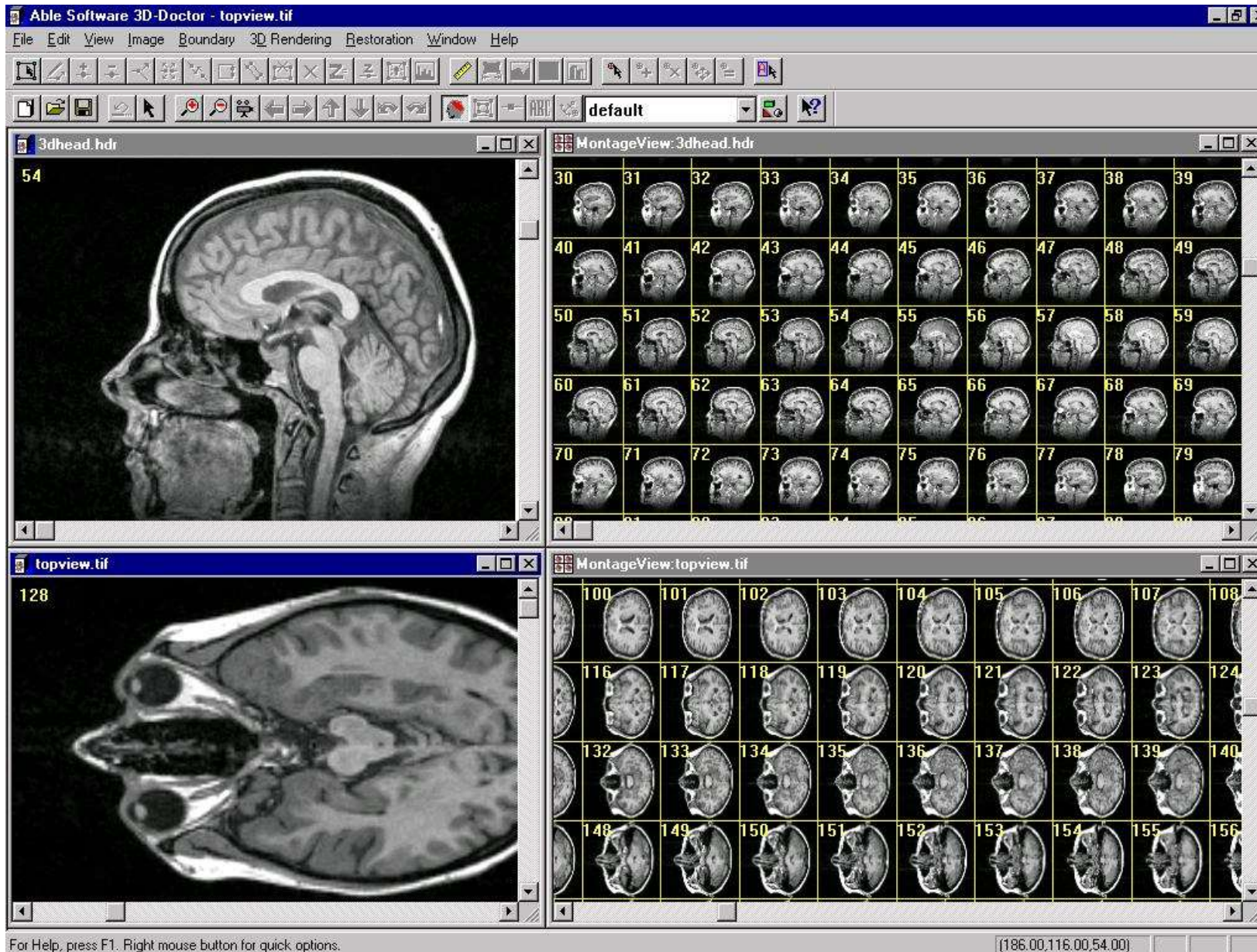
- zobrazovacie roviny:
 - 1. koronálny smer
 - 2. sagitálny smer
 - 3. axiálny smer
 - potreba namerať celú sériu vrstiev z časti tela pacienta
 - ak je opakovací čas **TR** dostatočne dlhý, dá sa využiť na excitáciu a záznam signálu z ďalších vrstiev



Viacvrstvové zobrazovanie



Príklady

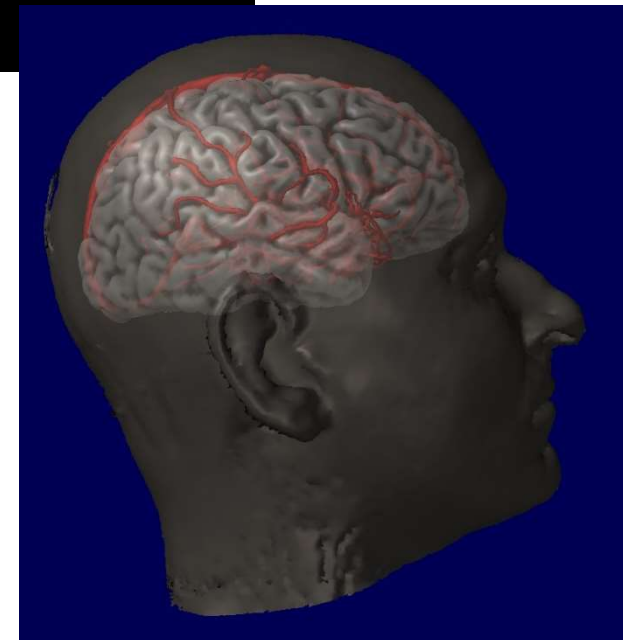
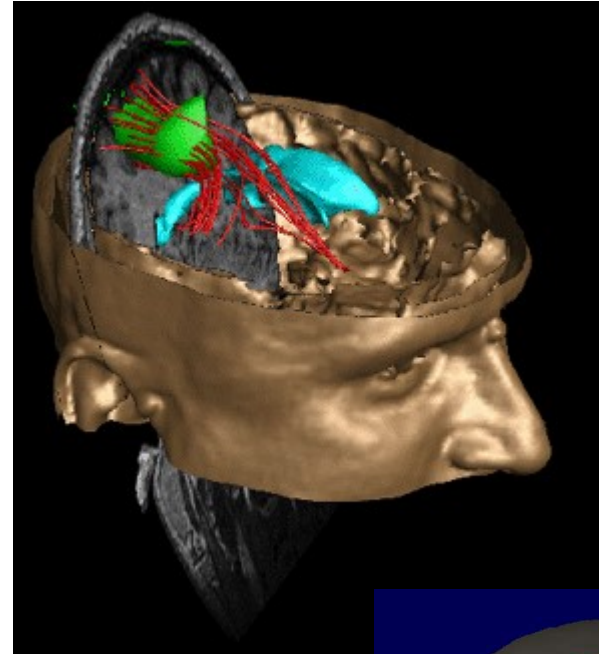


3D zobrazovanie

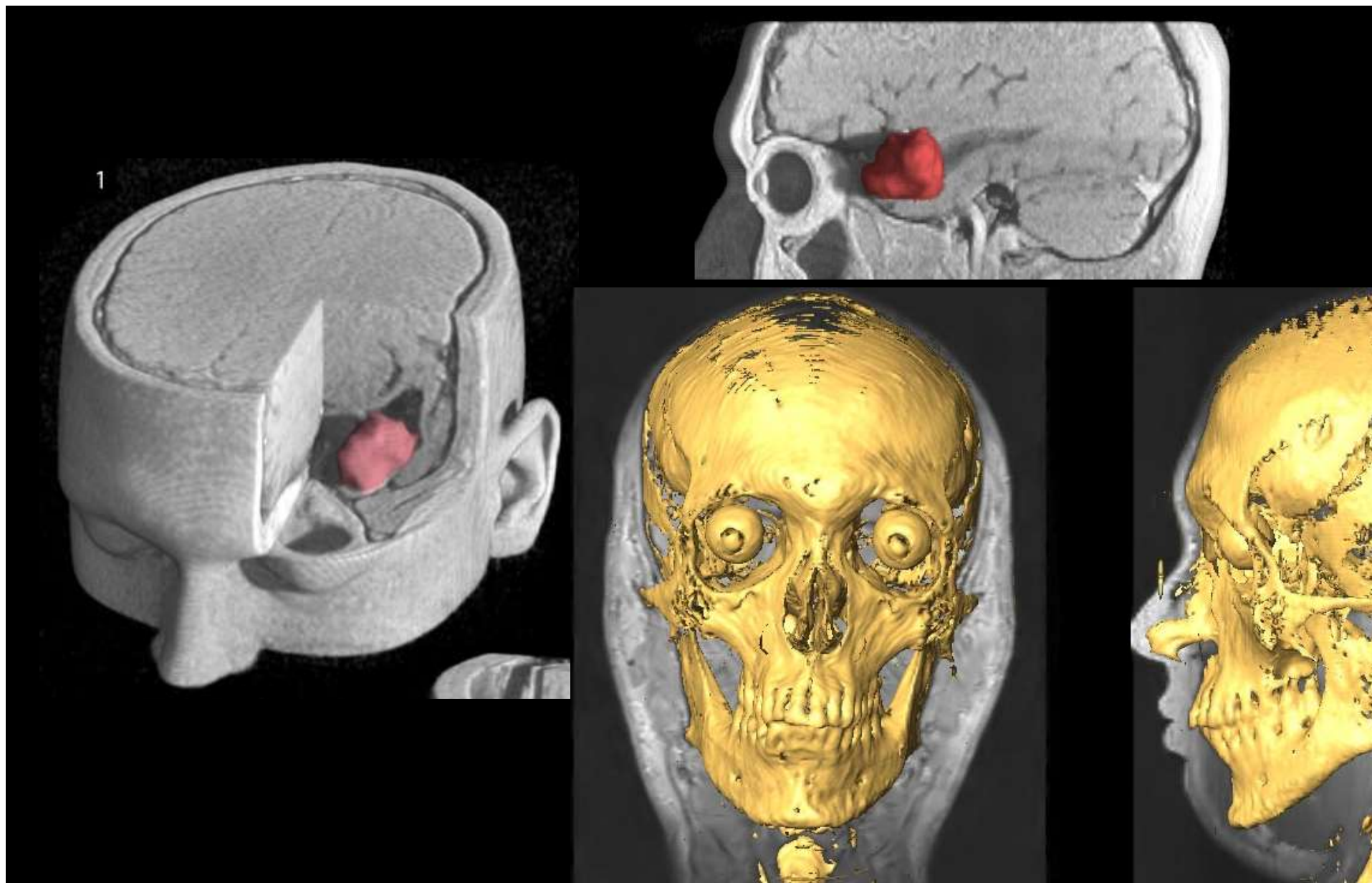
- excitácia celého objektu
- potreba použiť ďalší fázovo kódovací gradient

- výhody 3D zobrazovania:
 - nízky šum
 - rekonštruované vrstvy na seba plynule nadväzujú

- nevýhody 3D zobrazovania:
 - dlhý merací čas
 - komplikovaná manipulácia s veľkou maticou údajov

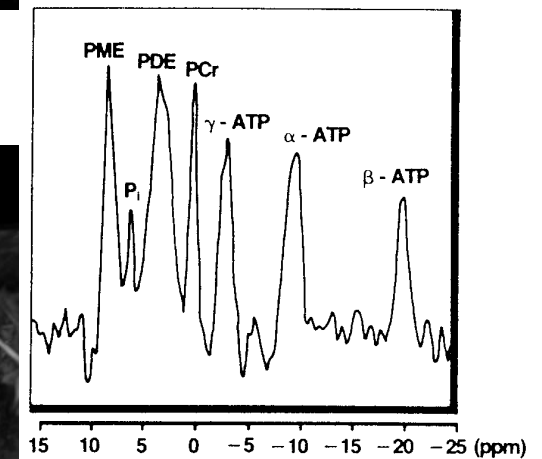
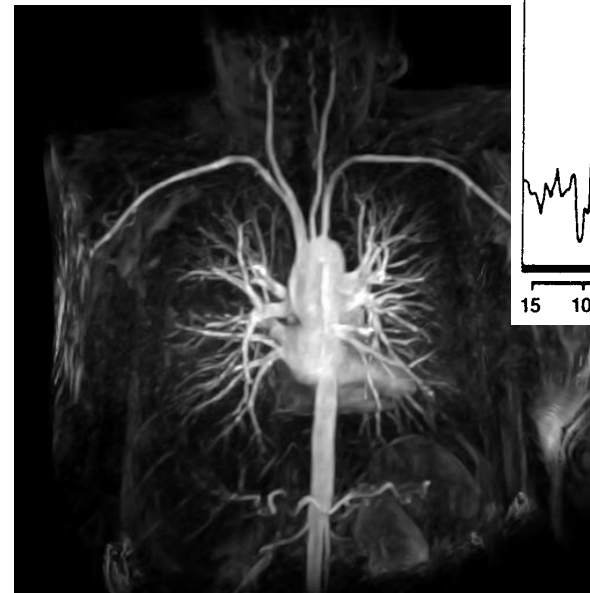
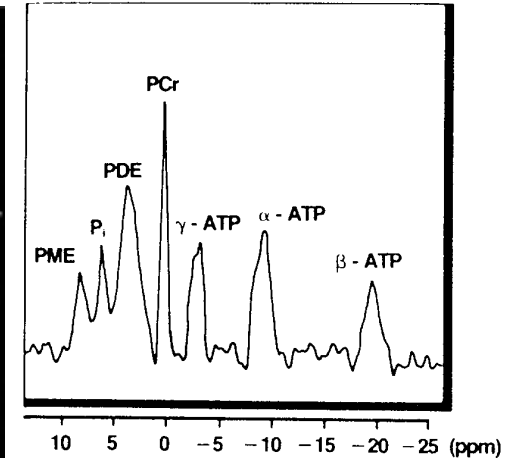
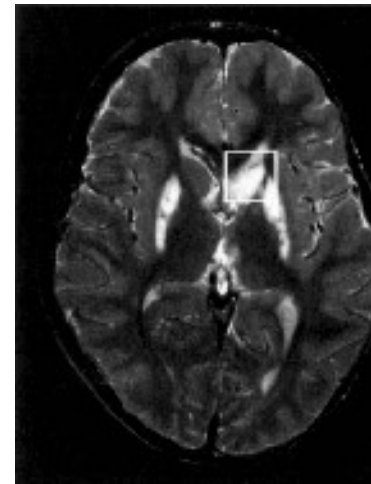


Príklady



Meracie techniky

- Metódy so spinovým echom
 - pomalá zobrazovacia metóda
 - kvalitný obraz, možnosť meniť kontrast
- Metódy s gradientovým echom
 - rýchla zobrazovacia metóda, využitie v 3D zobrazovaní
- Špeciálne meracie techniky
 - angiografia – prúdenie krvi
 - *in vivo* spektroskopia



Vplyv MR na pacienta a okolie

- možné ohrozenie
 - statické magnetické polia
 - prementlivé magnetické polia (gradienty)
 - vysokofrekvenčné polia (rf)
 - chladiace plyny (LHe, LN)

- hazardy
 - akútne
 - subakútne

Akútne hazardy

- rozptylové magnetické polia
 - čiara bezpečnej úrovne magnetického poľa (0.5 mT)
- projektily
 - voľne uložené feromagnetické predmety (skalpel, nožnice, perá, kľúče)
 - detektor kovov
- implantáty v tele pacienta (chirurgické)
- kardiostimulátor
 - rf polia – asynchrónny mód činnosti
 - statické pole – zmena polohy, odpojenie
- protézy
- cudzie telieska
- klaustrofóbia
 - MR systém s otvoreným magnetom

