

Magnetická rezonance: rekonstrukce, výpočetní zpracování

Využití v jednotlivých oblastech medicíny

*M. Keřkovský
Radiologická klinika FN Brno a LF MU*



Pokročilé techniky MR vyšetření a zpracování dat

- MR nabízí mnoho možností speciálních vyšetření, která přinášejí další cenné informace k základnímu zobrazení
- Použití ve výzkumu i v běžné praxi
- Často nutná sofistikovaná výpočetní zpracování

Pokročilé techniky MR vyšetření a zpracování dat


- Základní úpravy obrazu
- Subtrakce
- 2D, 3D rekonstrukce
- Angiografie
- PCA
- DWI
- DTI
- PWI
- fMRI

Základní úprava obrazu

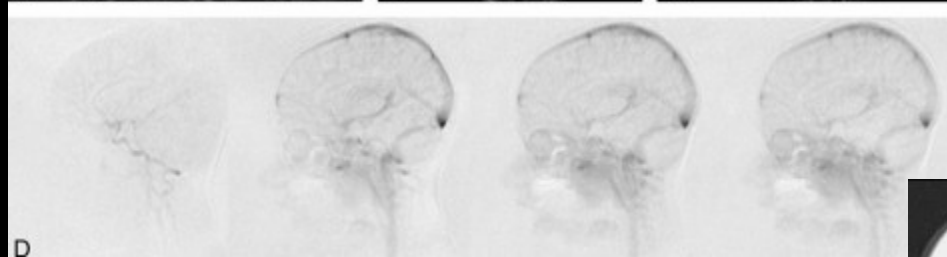
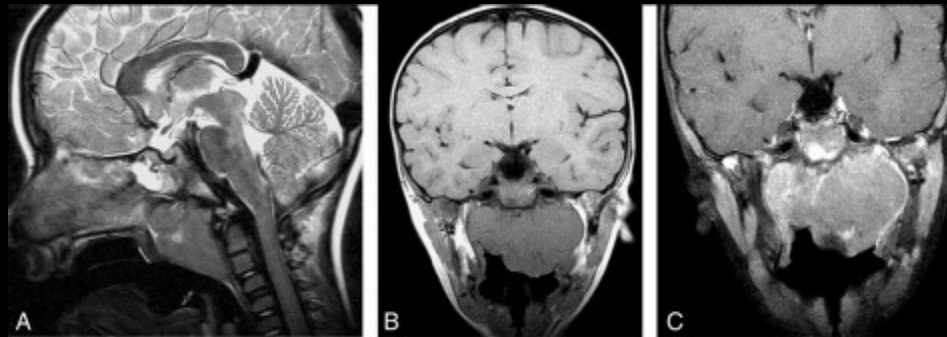
- Doplnkové úpravy (většinou nejsou nutné pro hodnocení)
- Digitální zpracování obrazu za účelem zlepšení jeho kvality
- Vyhlazení (redukce šumu), detekce rozhraní – možnost nastavení vhodných parametrů pro optimální zobrazení



Subtrakce

- Odečtení intenzity signálu v jednotlivých voxelech
 - Praktické využití
 - Posouzení postkontrastního syčení - subtrakce nativního a postkontrastního obrazu zvýrazní syťící se oblasti
 - T₁ GE in-phase – opposed-phase
- 

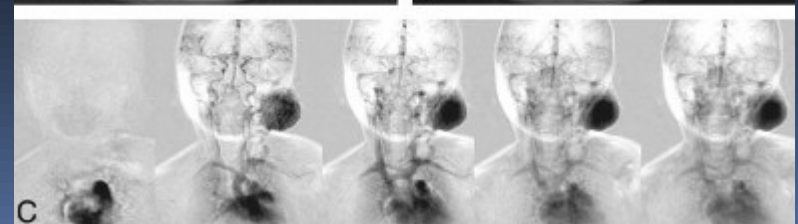
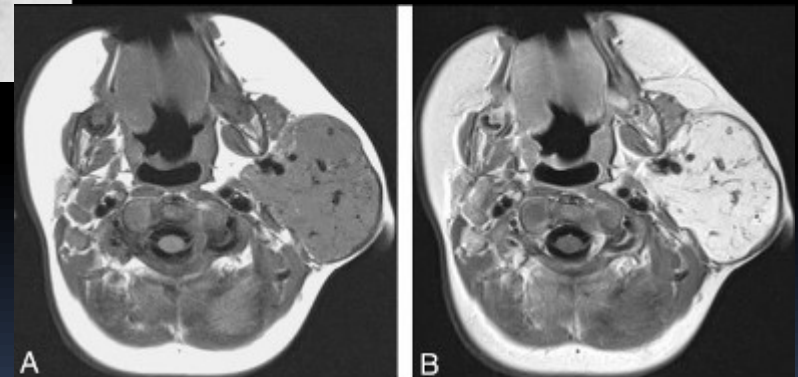
Subtrakce



- Sycení:
MR-DSA

Hemangiom

Burkittův lymfom



Choi W.K, Woodhouse N., Coley S.C., Griffiths P.D.:
Pediatric Head and Neck Lesions: Assessment of Vascularity
by MR Digital Subtraction Angiography. AJNR Am J
Neuroradiol 25:1251-1255, 2004

Subtrakce

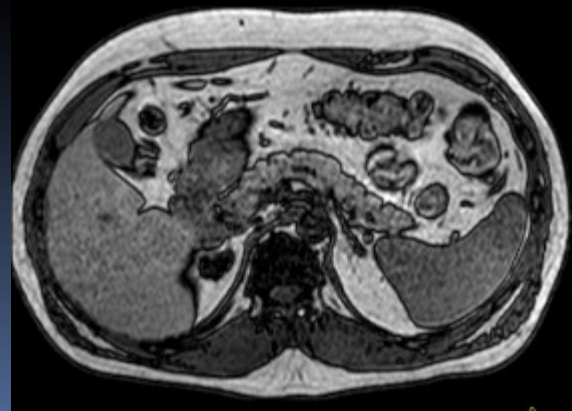
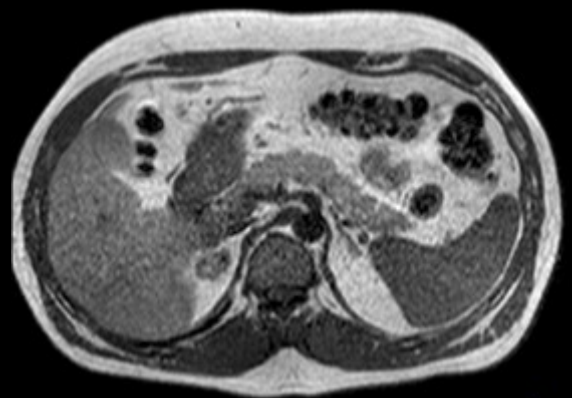
- T₁ GRE in- opposed-phase
 - Tuk – voda : odlišná fáze MR signálu
 - Možnost detekce signálu v různém čase – v různých fázích
 - Závislost výsledného signálu na složení tkáně:
 - Jenom tuk nebo voda → na fázi nezáleží
 - Současný obsah tuku i vody:
 - snímání v souhlasné fázi – vysoký signál
 - snímání v opačné fázi – pokles signálu v opposed phase obraze

Subtrakce

- T₁ GRE in- opposed-phase
 - Využití:
 - Jaterní steatóza – drobné částice tuku v jaterních buňkách způsobí pokles intenzity signálu v opposed-phase obraze
 - Adenom nadledviny – charakteristický přítomností tuku – pokles signálu v opposed phase obraze s možností subtrakce , kdy se zvýrazní oblasti s rozdílnou intenzitou signálu mezi in- a opposed-phase.

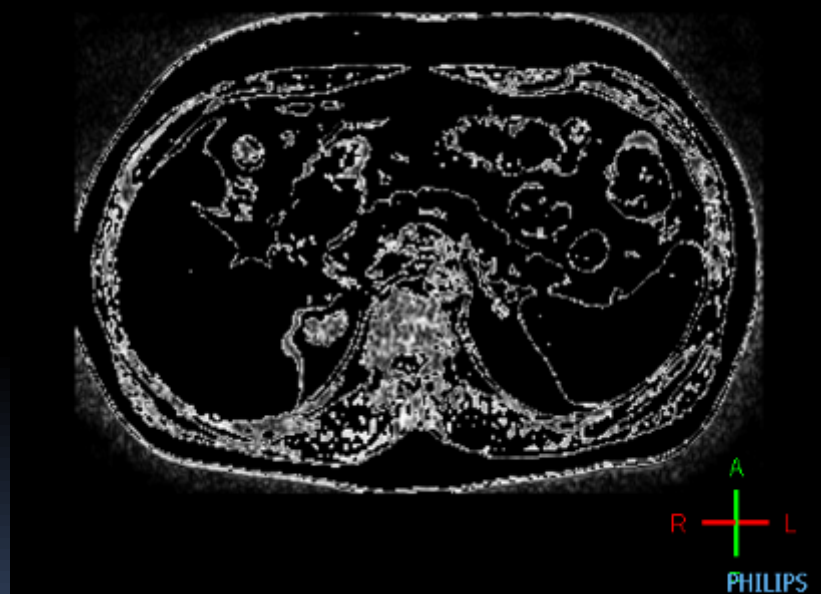
Subtrakce

- T₁ GRE in- opposed-phase



Sc 8, 1 / 21
FFE/M
Ec 1 (TE 2.3 ms)

Preview
FN Bohunice



Adenom nadledviny

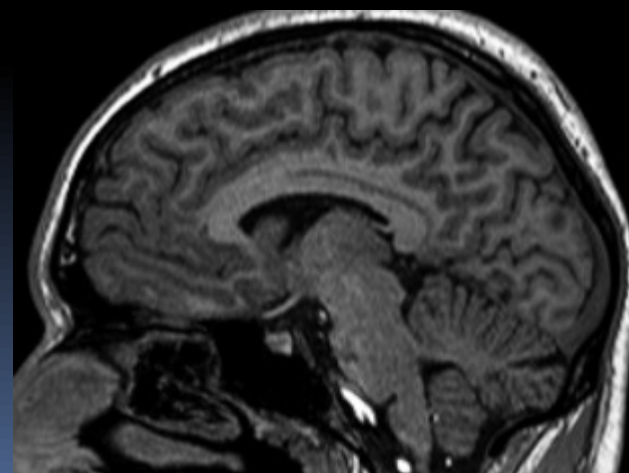
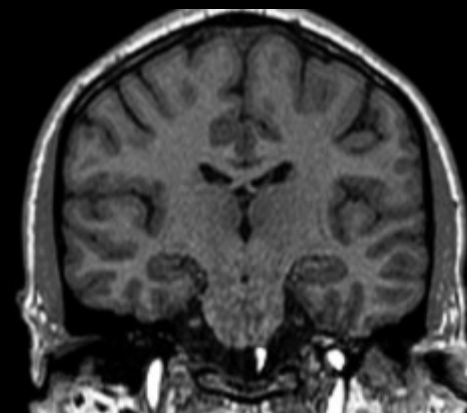
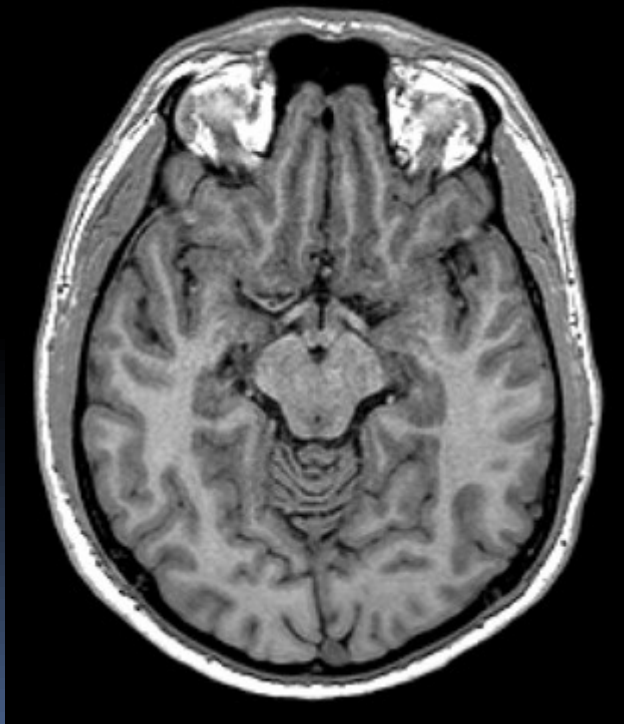
2D, 3D rekonstrukce

- Nejčastěji používané rekonstrukce
 - MPR – multiplanární rekonstrukce – 2D rekonstrukce řezů v různých rovinách
 - MIP – maximal intensity projection – projekce voxelů s maximální intenzitou signálu do zvolené roviny
 - VRT – volume rendering technique – objemová rekonstrukce zvolné oblasti s nastavením průhlednosti jednotlivých tkání (intenzit)
- Předpokladem je dostatečné rozlišení, malá tloušťka řezu - v ideálním případě izotropní voxel (stejný rozměr ve všech směrech). Rekonstrukce jsou potom stejně kvalitní jako zdrojové řezy

2D, 3D rekonstrukce

- 3D sekvence
 - T₁ FFE 3D
1,6 mm izotropní voxel

MPR



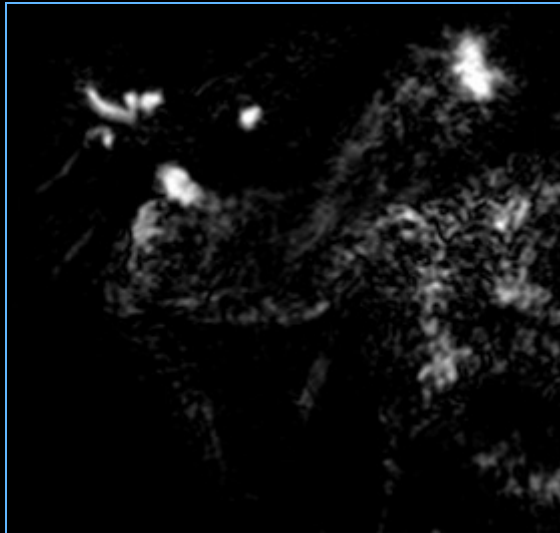
MR „hydrografie“

- Tekutina v lidském těle – přirozená kontrastní látka pro MR
- Silně T₂ vážené sekvence – vysoký kontrast mezi tekutinou a okolními tkáněmi → kvalitní zobrazení tekutinou naplněných struktur
- Použití MIP / VRT prostorových rekonstrukcí naměřených dat
 - MRCP
 - MR urografie
 - MR myelografie

MRCP

- MR cholangiopankreatikografie
- Zobrazení tekutinové náplně žlučových cest a pankreatického vývodu
- Možnost detekce obstrukce / stenózy žlučových cest (lithiáza, tumor..)
- Neinvazivní alternativa k ERCP - endoskopická retrográdní cholangiopankreatikografie (zátěž pacienta endoskopií, zářením, rizikem vzniku pankreatitidy)

MRCP



MIP

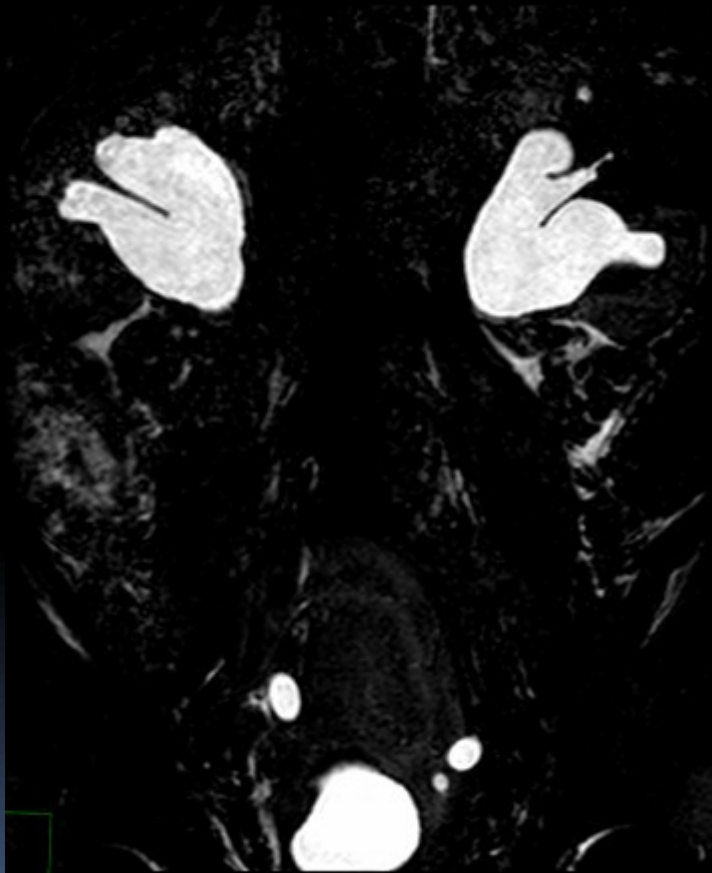
Cholelithiáza, stenóza
žlučových cest

MR urografie

- Zobrazení tekutinové náplně vývodných cest močových
- Detekce obstrukce / stenózy (urolithiáza..)
- Neinvazivní alternativa k IVU:
 - Zobrazení morfolgie močových cest bez použití jódové kontrastní látky
 - Výhoda u pacientů s obstrukcí močových cest a poruchou vylučování
 - Posouzení vylučování při i.v. podání Gd kontrastní látky
 - Menší senzitivita pro detekci drobných konkrémentů oproti IVU

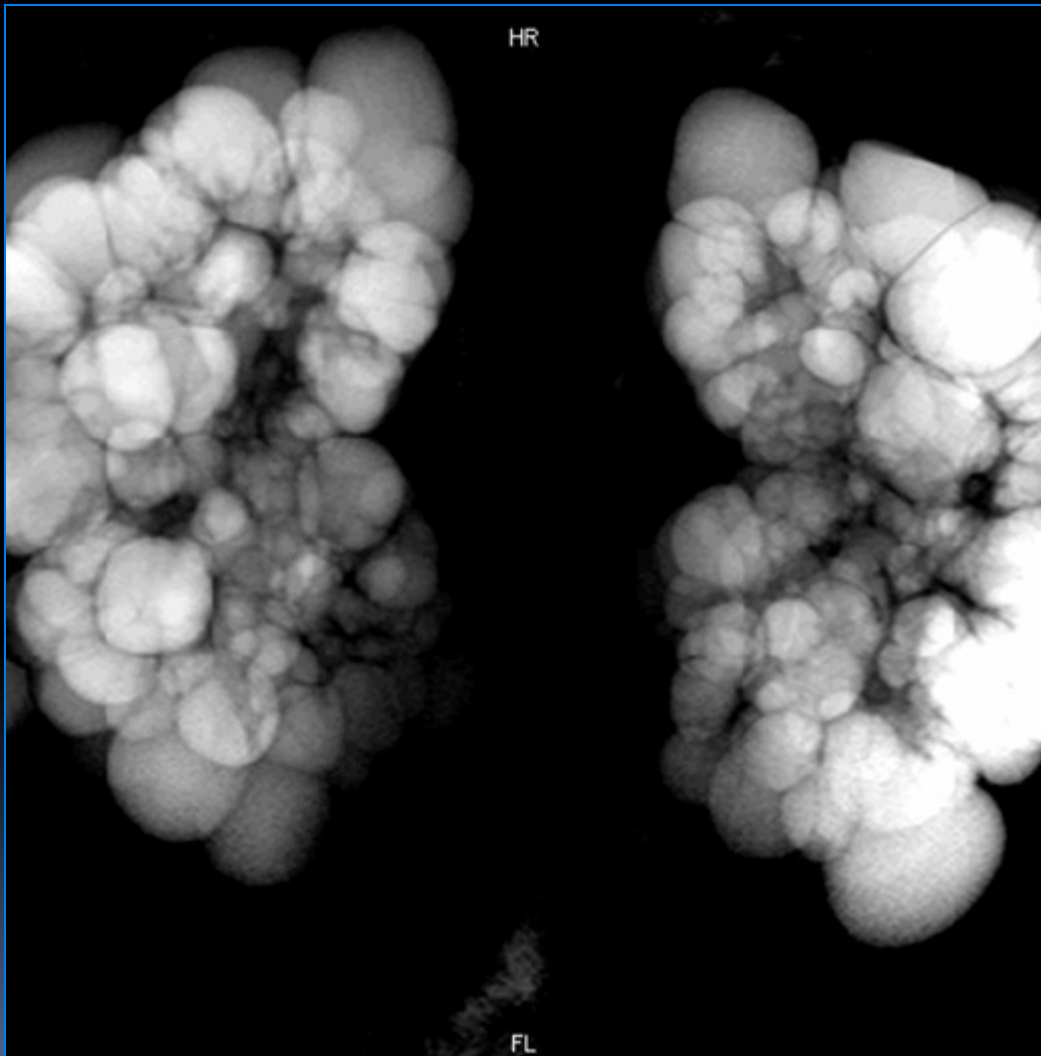
MR urografie

MIP



Refluxní nefropatie

MR urografie



MIP

Polycystóza ledvin

MR myelografie

- Zobrazení tekutiny – likvoru v páteřním kanálu
- Neinvazivní alternativa k PMG (perimyelografie)
- Běžně používaná sekvence doplňující klasické MR vyšetření páteře
- Zobrazení komprese durálního vaku (deg. změny..), intradurální nádory atd.

MR myelografie



MIP

HASTE

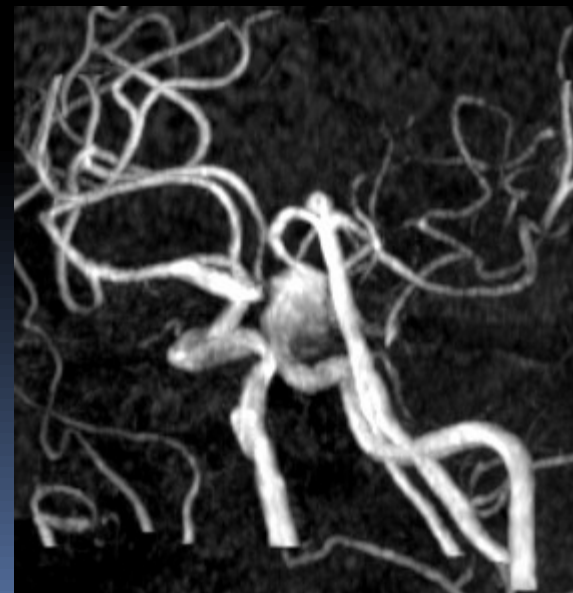
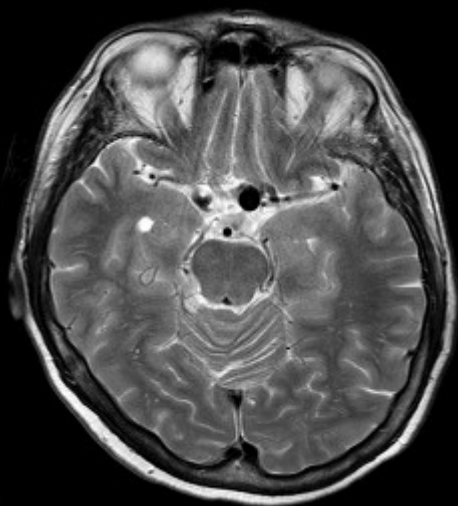


MR angiografie

- Nativní MRAG – bez použití kontrastní látky. Speciální sekvence citlivé na proudění tekutiny poskytují vysoké intenzity signálu cév oproti relativně tmavému okolí. Používá se hlavně pro zobrazení mozkových cév.
- Kontrastní MRAG – dynamická intravenózní aplikace kontrastní látky, vyšetření cílové cévy při prvním průchodu KL – vysoká kvalita zobrazení. Technika využitelná pro libovolné cévy v těle.
- Zobrazení: zdrojové řezy + rekonstrukce – hlavně MIP a VRT rekonstrukce ev. MPR

MR angiografie

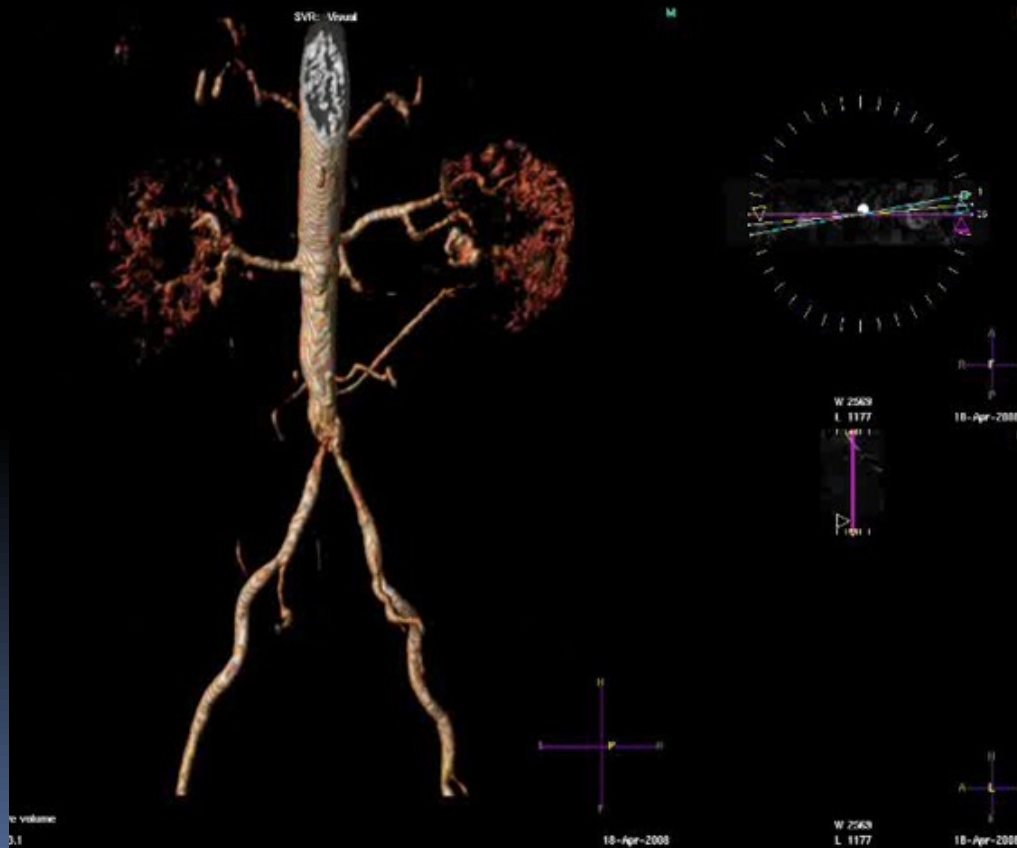
- Nativní MRAG – mozkové tepny (T₁ FFE TOF)



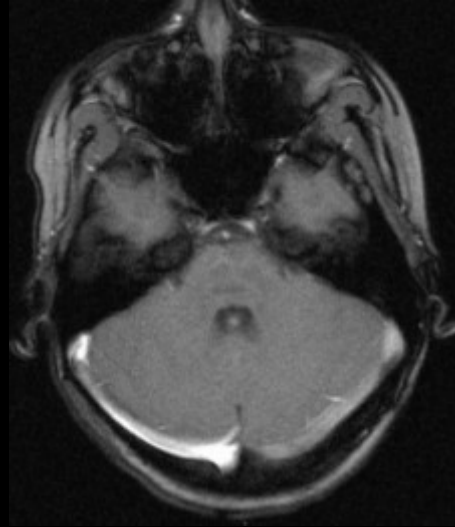
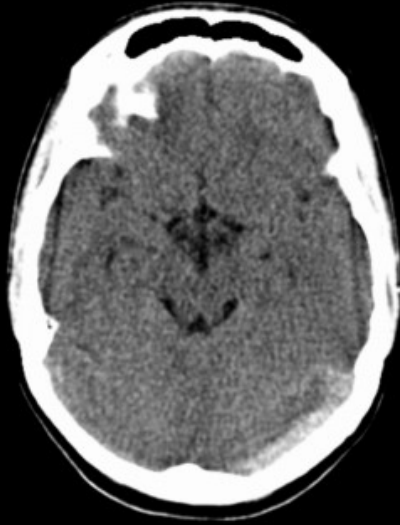
Aneuryzma ACI vlevo
& a. basilaris

MR angiografie

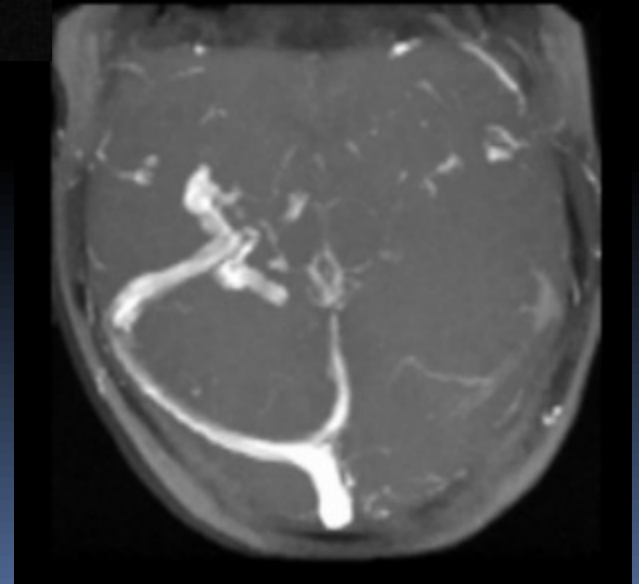
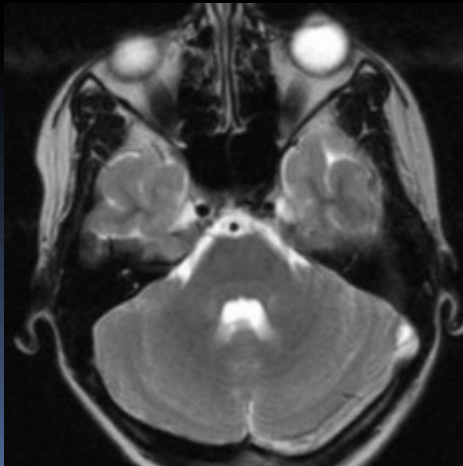
- Kontrastní MRAG (CEMRA)



PCA: venózní MR angiografie



Trombóza příčného a
esovitého splavu

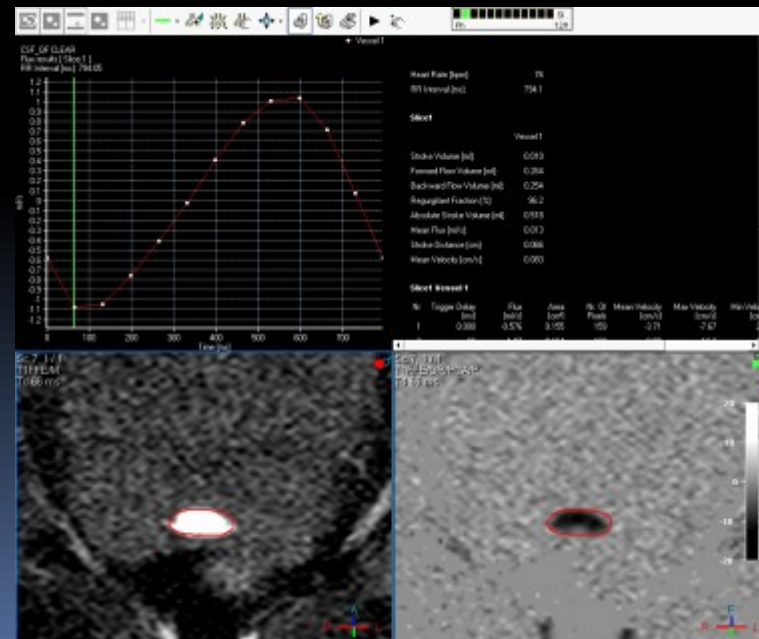
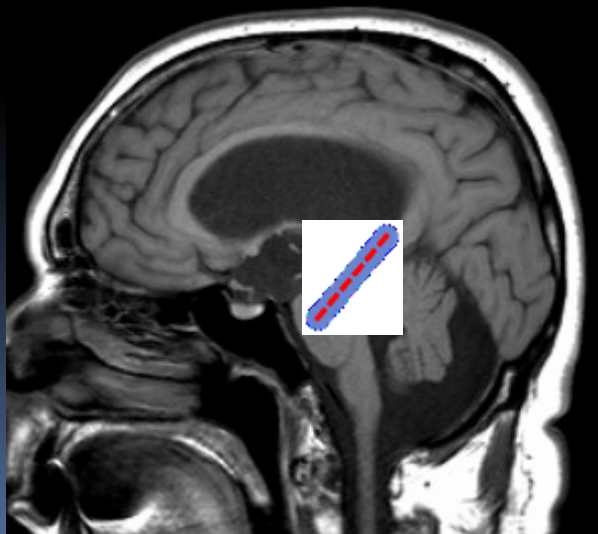


PCA

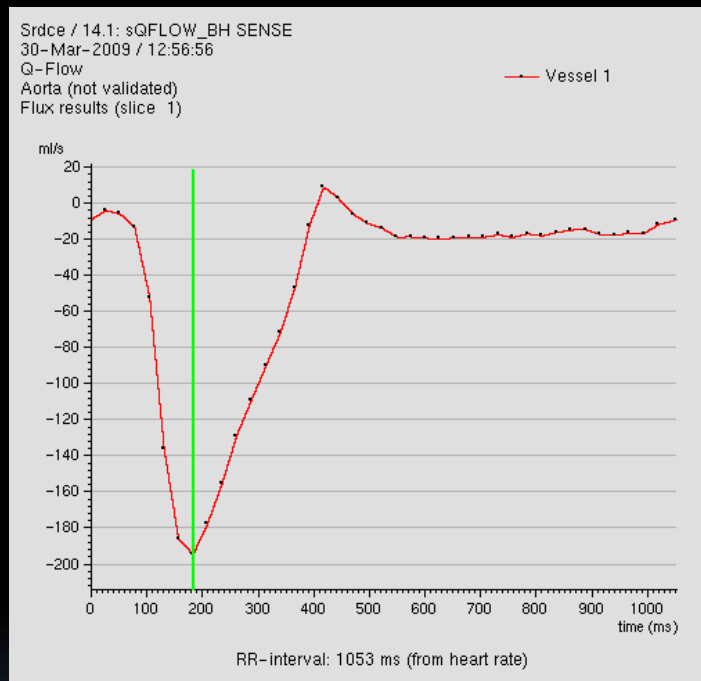
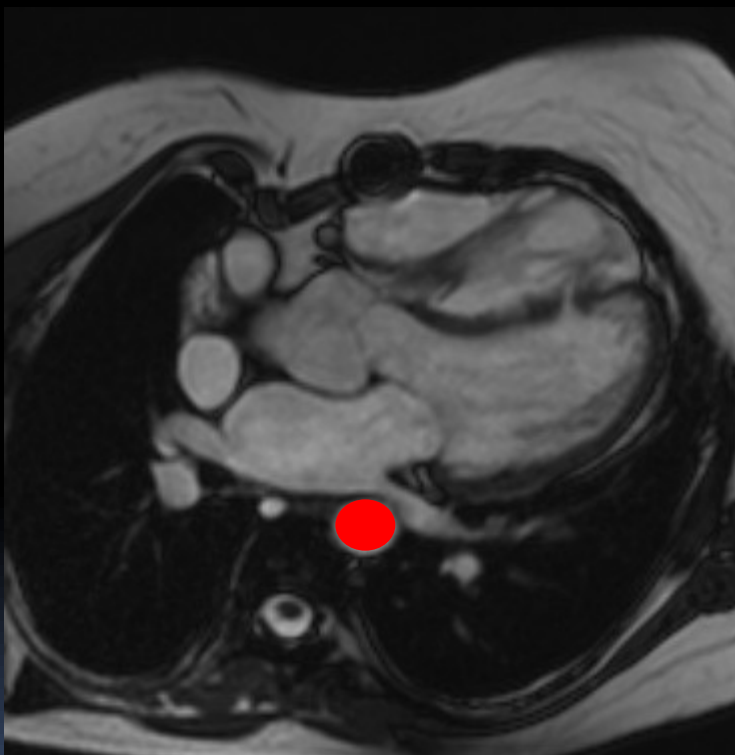
- Phase Contrast Angiography
- Sekvence citlivá k proudění spinů v tekutině
- Vhodná pro zobrazení pomalých toků
 - Venózní MR angiografie (mozkové splavy)
 - Kvantifikace toků
 - Kardiovaskulární MR vyšetření (měření v místě stenózy, chlopenní srdeční vady..)
 - Neuroradiologie – kvantifikace proudění mozkomíšního moku

PCA: technika měření

- Synchronizace s pulzem či EKG
- Opakované snímání v jedné rovině v průběhu jednoho srdečního cyklu
- Manuální ohraničení oblasti zájmu
- Výpočet toků s možností grafického vyjádření



PCA: cardio MR



Měření toků v
sestupné aortě

PCA: cirkulace likvoru

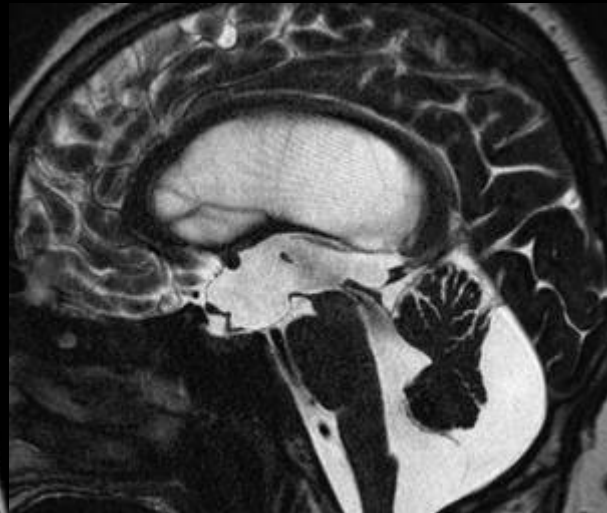
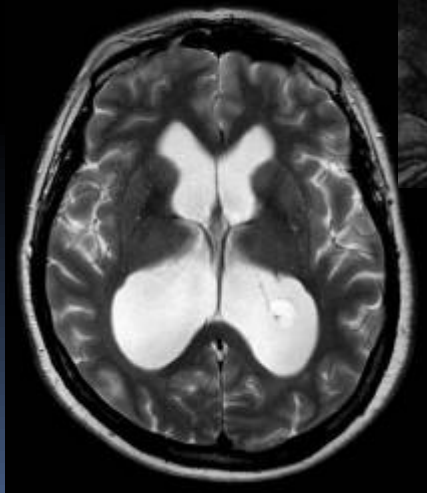
- Přímé zobrazení toků mozkomíšního moku s možností kvantifikace
- Význam pro klasifikaci jednotlivých typů hydrocefalu
 - Měření podpoří diagnózu stenózy mokovodu (snížení toků)
 - Zvýšení rychlosti toků v mokovodu u normotenzního hydrocefalu

PCA: cirkulace likvoru

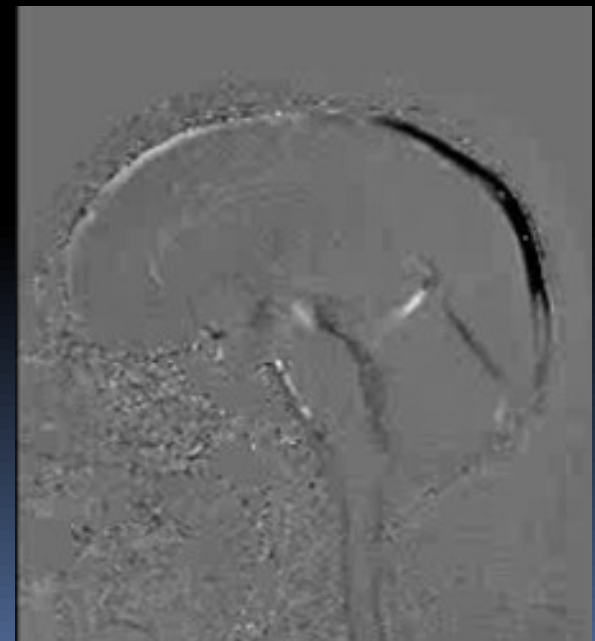
- Hydrocefalus: rozšíření komorového systému mozku
 - Komunikující: porušená rovnováha produkce a vstřebávání likvoru
 - Nekomunikující: překážka v cirkulaci likvoru komorovým systémem, dilatace nad překážkou
- MR zobrazí šíři komor, zobrazí místo případné obstrukce
- PCA doplňuje standardní vyšetření a zpřesňuje diagnózu

PCA: cirkulace likvoru

- Komunikující hydrocefalus

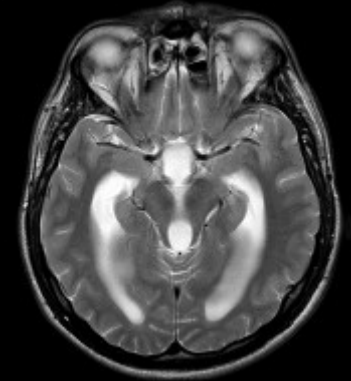
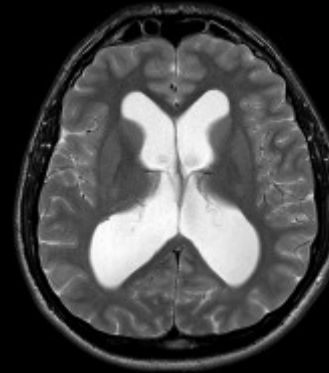
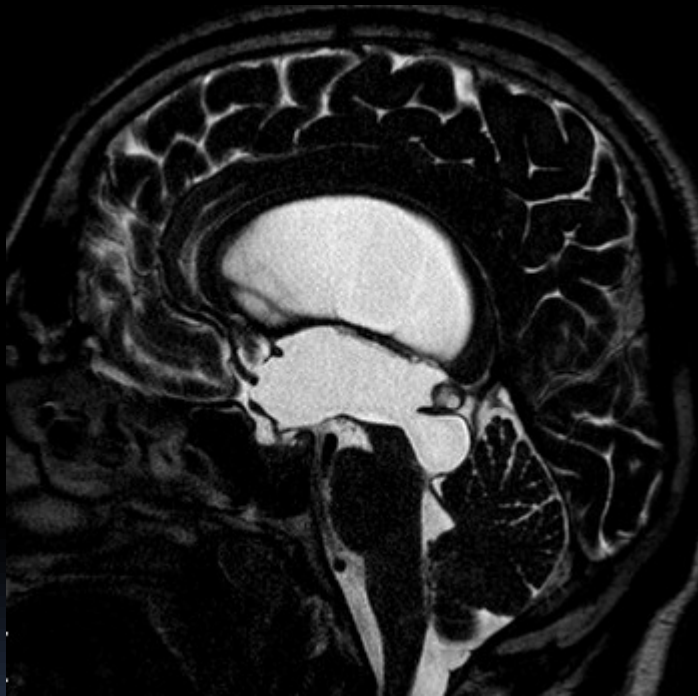


Zobrazení toků v
sagitální rovině –
proudění likvoru v
aqueduktu



PCA: cirkulace likvoru

- Obstrukční hydrocefalus



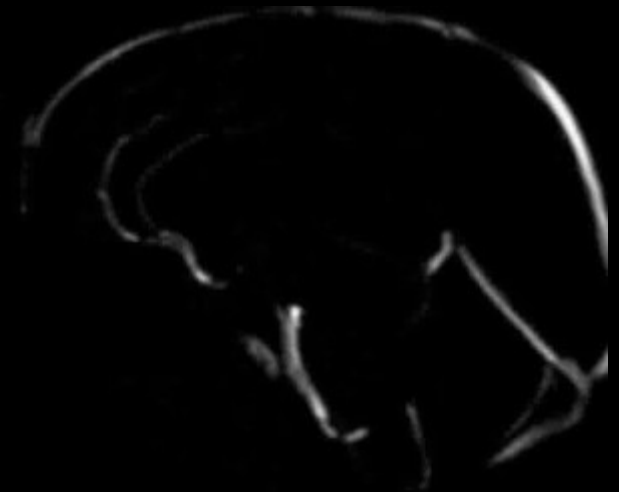
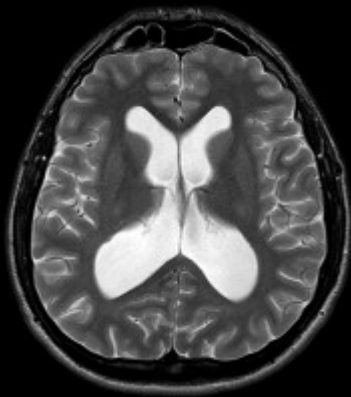
Tok v aqueduktu
není patrný

PCA: cirkulace likvoru

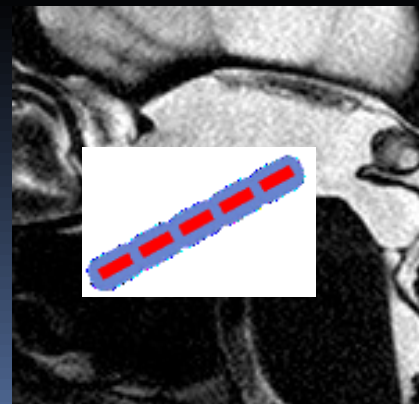
- Obstrukční hydrocefalus
 - Endoskopická ventrikulocisternostomie:
 - Výkon používaný u obstrukčního hydrocefalu nejčastěji při stenóze či obstrukci Sylviova mokovodu
 - vytvoření otvoru ve spodině III. Mozkové komory – umělá komunikace umožňuje odtok likvoru z komorového systém

PCA: cirkulace likvoru

- Obstrukční hydrocefalus



MR kontrola: fenestrace
spodiny III. komory je
volně průchodná



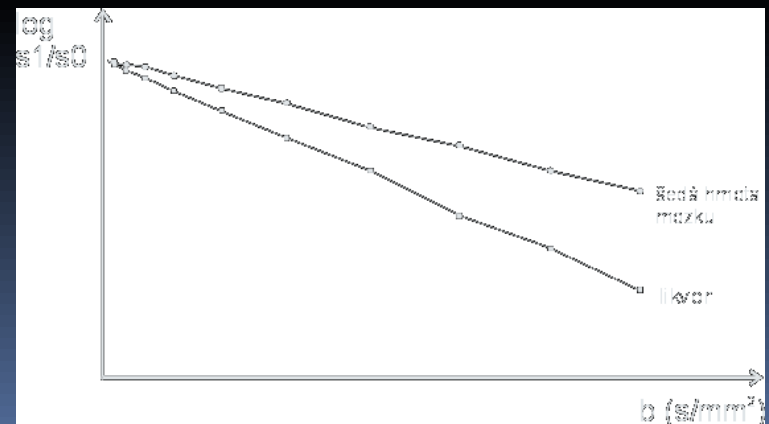
DWI – difuzně vážené zobrazení

- Difuze – náhodný pohyb molekul vody ve tkáni (Brownův pohyb)
- Míra difuzivity se často liší mezi jednotlivými tkáněmi nebo mezi zdravou a patologickou tkání
- MR zobrazení difuze ke konvenčnímu zobrazení přidává další diagnosticky cenné informace.

DWI

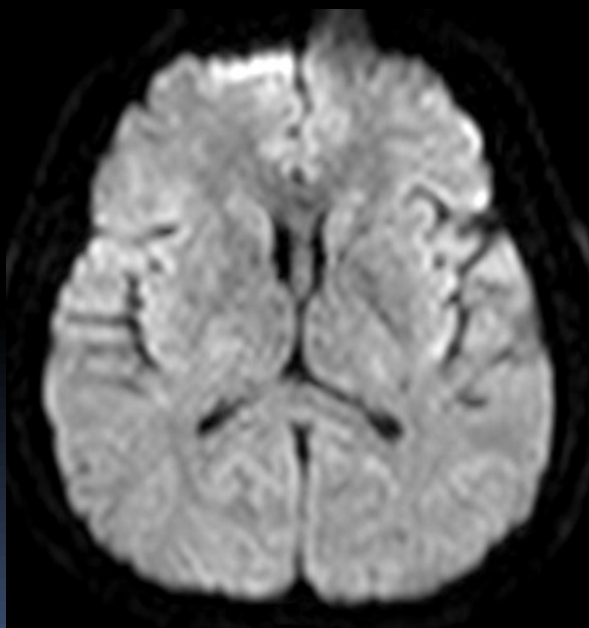
- ADC – apparent diffusion coefficient – kvantifikace míry difuze ve tkáni [cm^2/s]
- Nutná minimálně dvě měření s různými hodnotami přídatného gradientu (např. $b=0$ a 1000)
- Z intenzity signálu těchto obrazů je vypočítána ADC mapa

- Při grafickém vyjádření odpovídá hodnota ADC sklonu křivky logaritmické závislosti intenzity signálu na síle přídatných gradientů

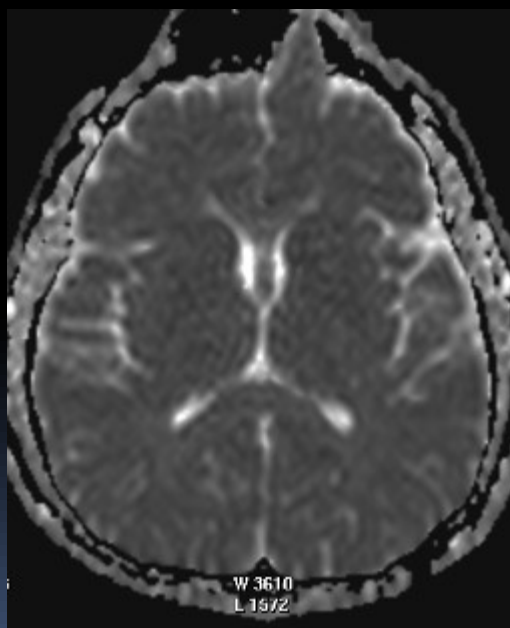


DWI – ADC mapa

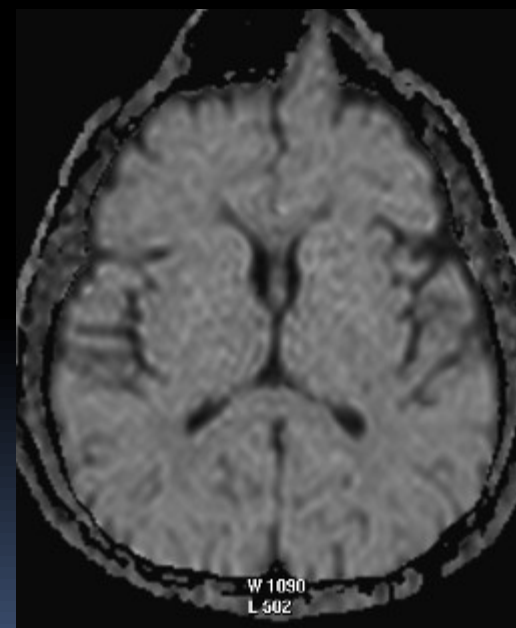
- Nízký signál → omezená difuze
- Vysoký signál → zvýšená difuze



DWI b1000



ADC



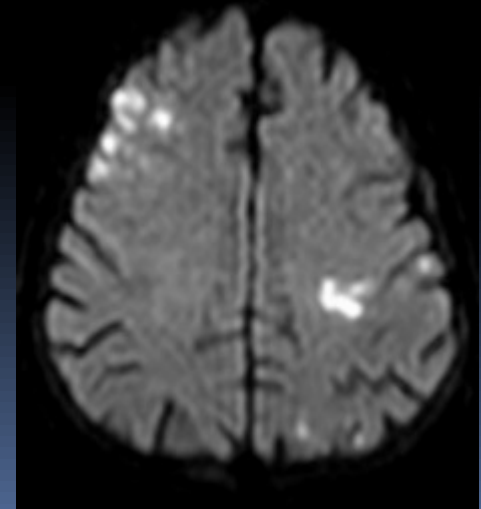
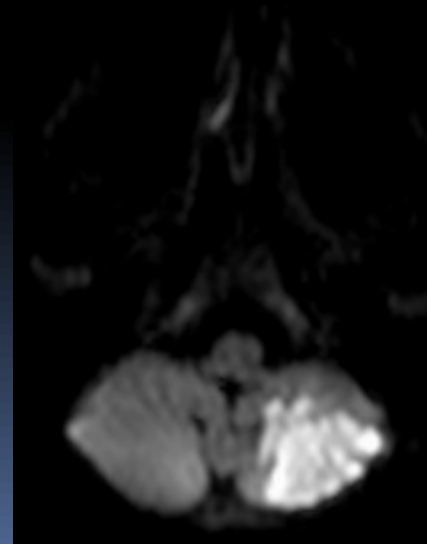
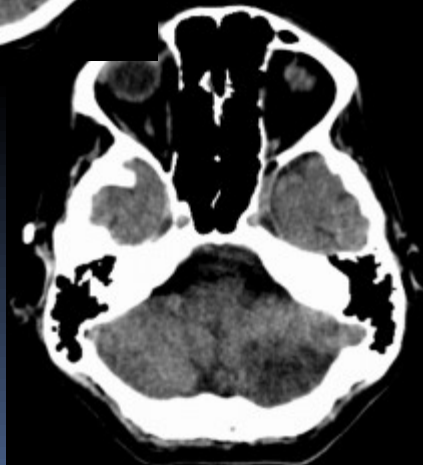
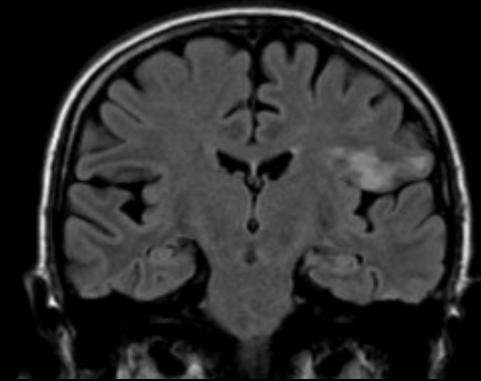
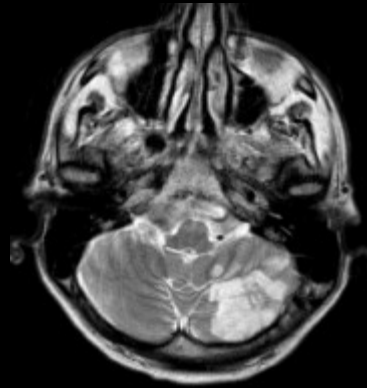
eADC

DWI

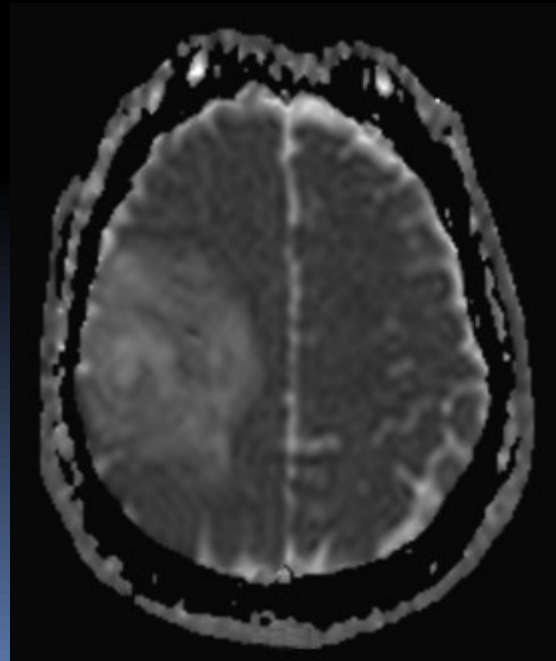
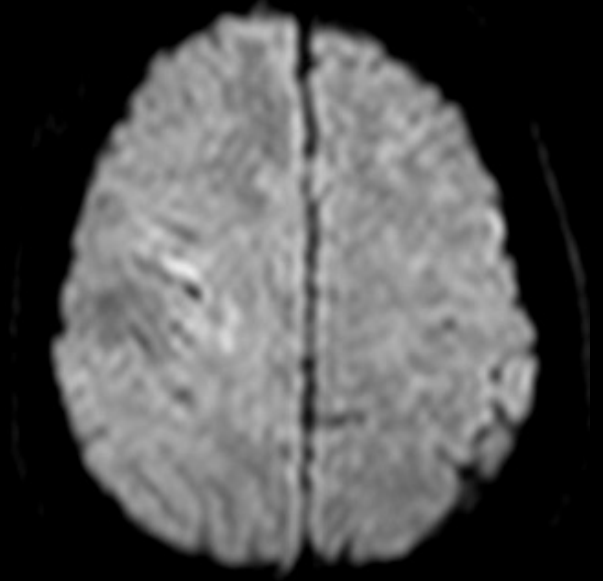
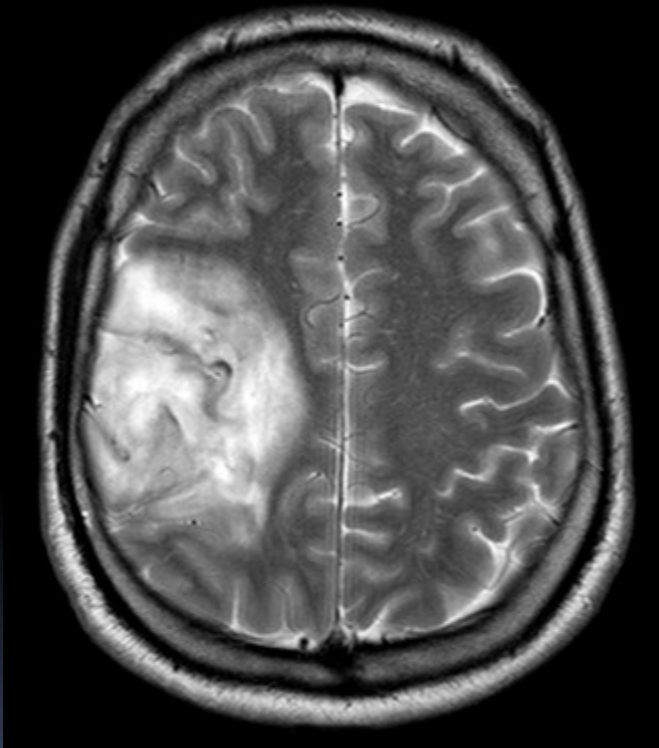
- Přínos DWI v MR diagnostice - odlišení cytotoxického od vasogenního edému:
 - Detekce čerstvé ischemie a její odlišení od tumoru
 - Diferenciální diagnostika prstenčitých lézí (absces x tumor)
 - Zpřesnění diagnostiky tumorů – vysoce celulární tumory mají omezenou difuzi

DWI – mozková ischemie

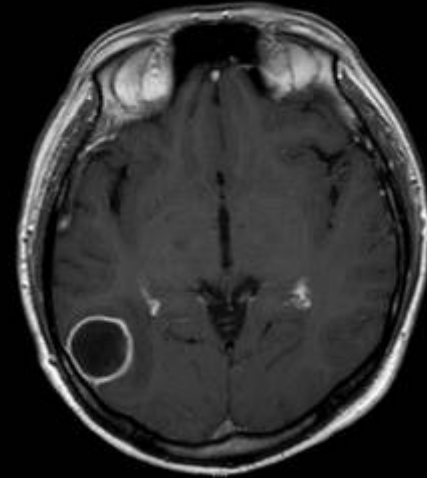
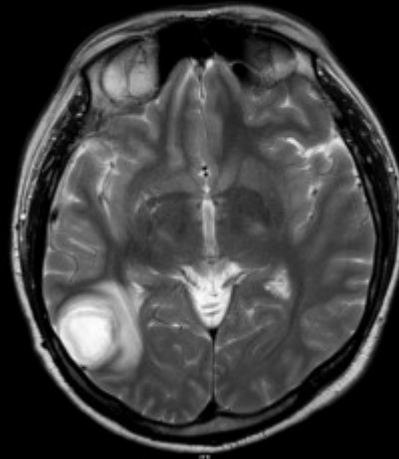
Embolizace



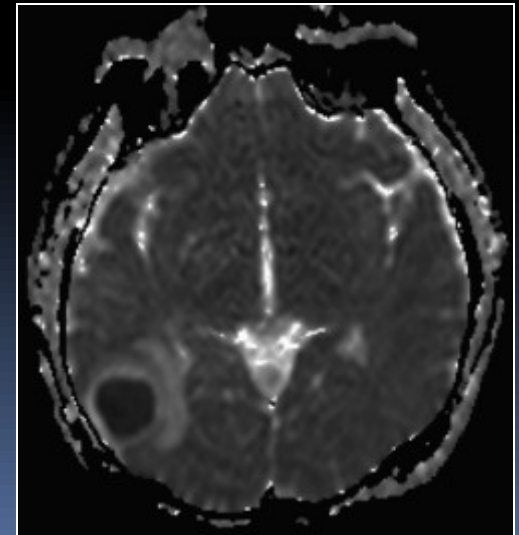
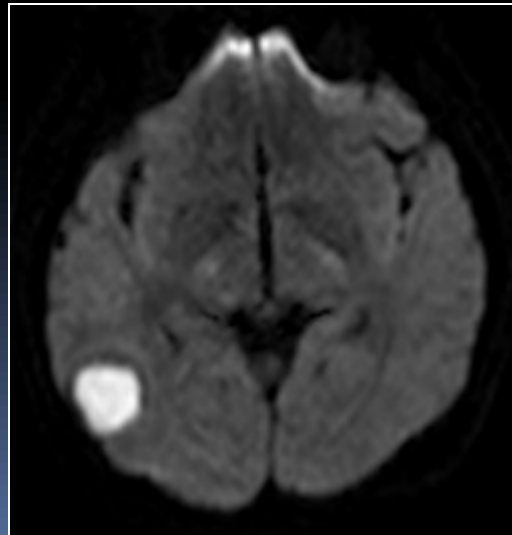
DWI - tumor: gliom



DWI - absces



- Restrikce difuze obsahu abscesu

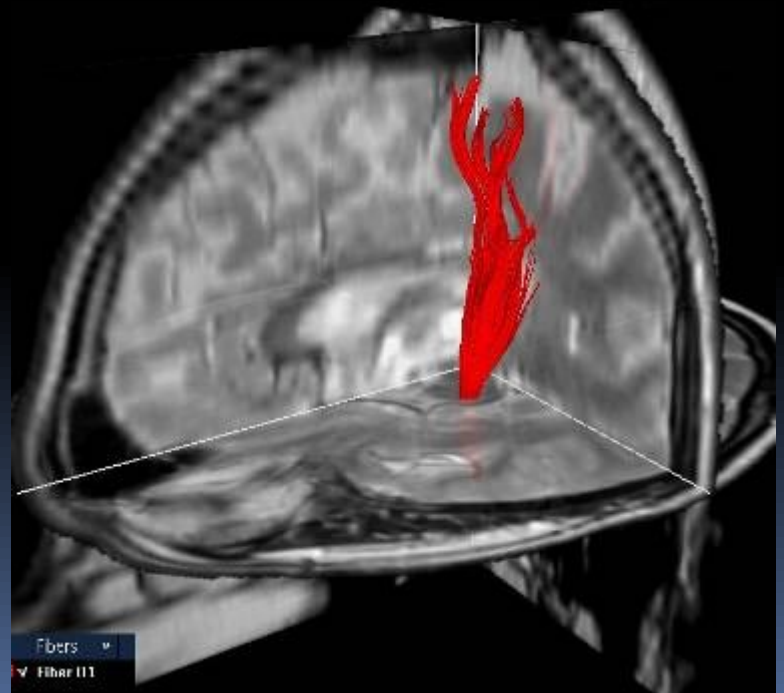
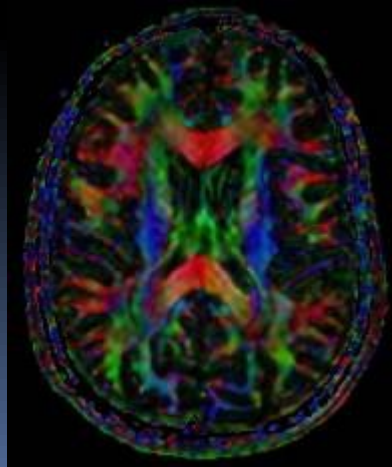
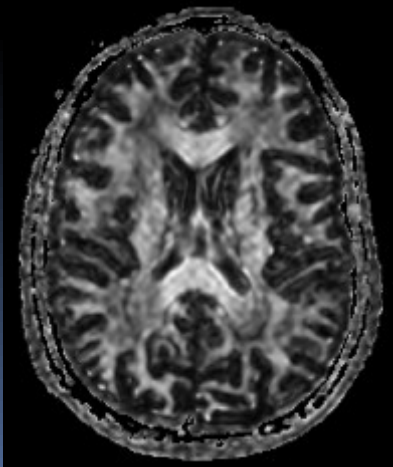


DTI – zobrazení tenzorů difuze

- Metoda založená na principech DWI
- **Anizotropie difuze** v bílé hmotě mozku a míchy: pohyb molekul vody probíhá snadněji podél nervových vláken
- Intenzita signálu obrazu DWI zavádí na směr použitého přídatného magnetického gradientu
- Opakovaným měřením s různými směry difuze můžeme detekovat dominantní směr difuze → směr průběhu nervových drah

DTI

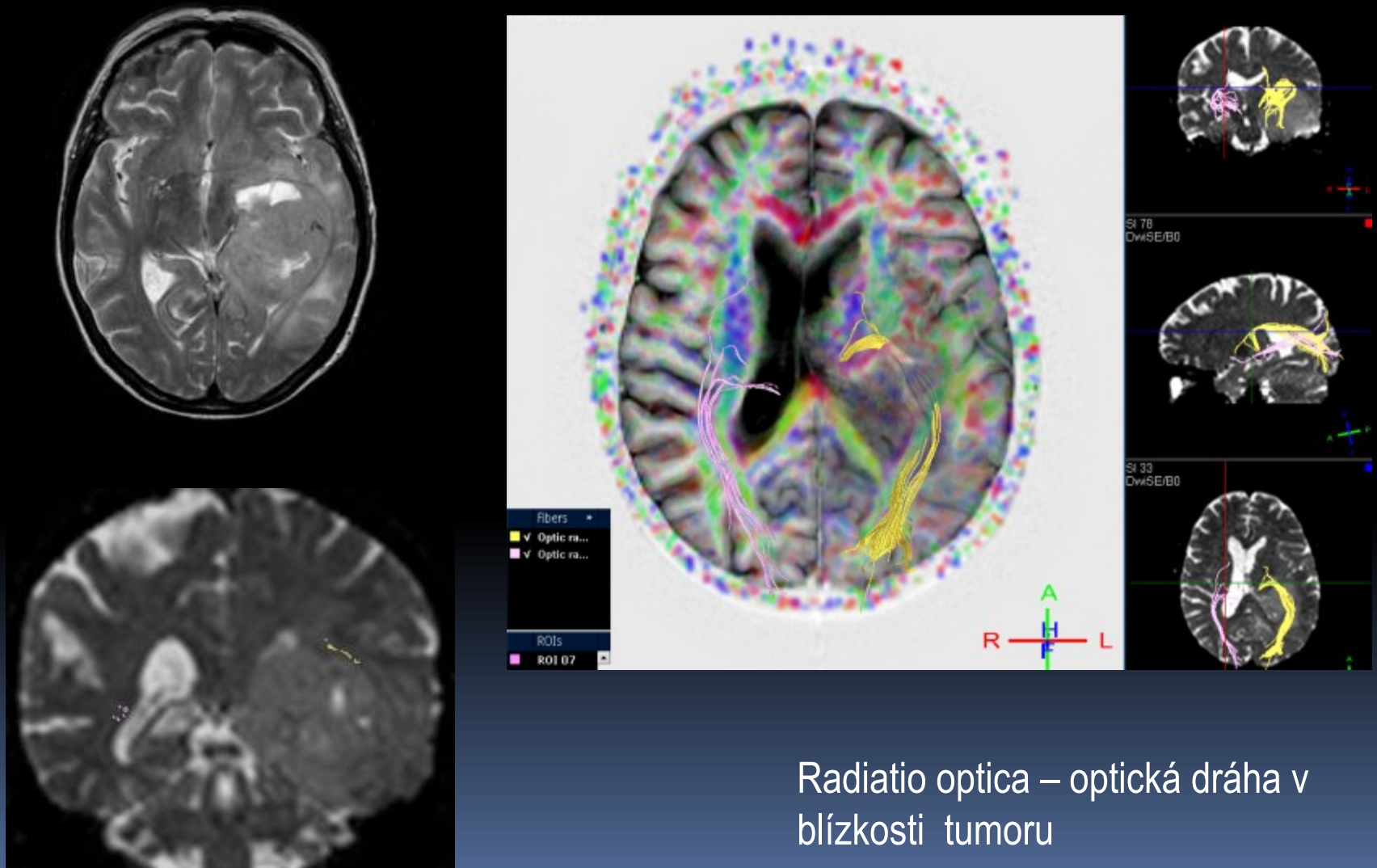
- Zpracování:
 - Mapa frakční anizotropie
 - Směrově kódovaná mapa vektorů anizotropie difuze
 - 3D Fibertracking



DTI - využití

- Měření hodnot frakční anizotropie a ADC pro zhodnocení postižení bílé hmoty
 - Normální bílá hmota – maximum difuze podél dlouhé osy nervových svazků
 - Abnormální bílá hmota - nárůst difuzivity molekul vody napříč nervovými trakty → snížení izotropie difuze
 - → DTI má potenciál pro časnější detekci patologie bílé hmoty než konvenční zobrazení
- 3D fibertracking – zobrazení průběhu nervových drah např. pro posouzení vztahu k tumoru

DTI fibertracking:

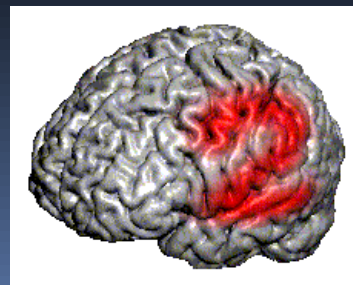


Radiatio optica – optická dráha v blízkosti tumoru

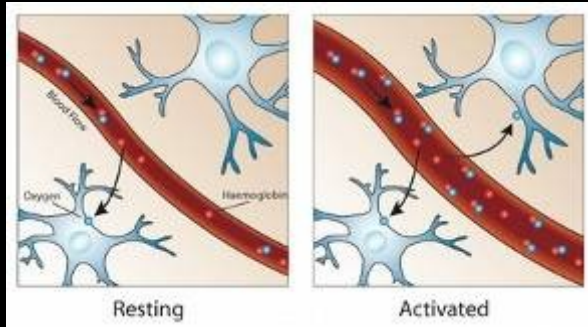
Funkční MR (fMRI)

- Jedna z moderních aplikací vyšetření magnetickou rezonancí (MR)
- Umožňuje přímé zobrazení funkčně aktivních korových oblastí
- Vyšetření zcela neinvazivní, pro pacienty poměrně nenáročné

Co lze zobrazit: motorické funkce, sluchová a zraková centra, paměťové, řečové a kognitivní funkce, emoce...

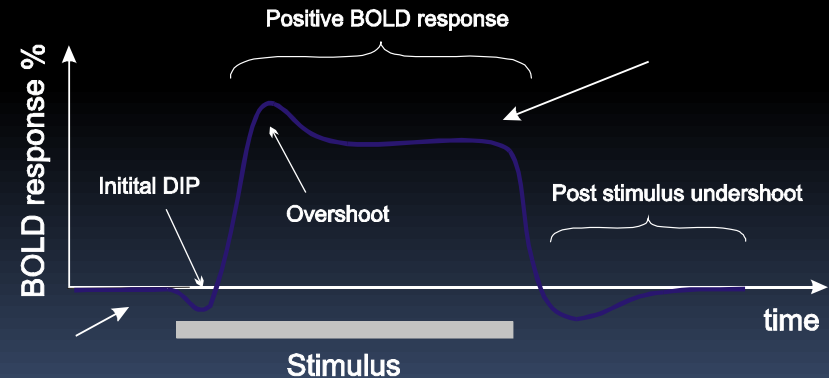


Bold efekt



Blood oxygen level dependency
Základní princip fMRI
Závislost intenzity MR signálu na
poměru
oxyhemoglobin/deoxyhemoglobin

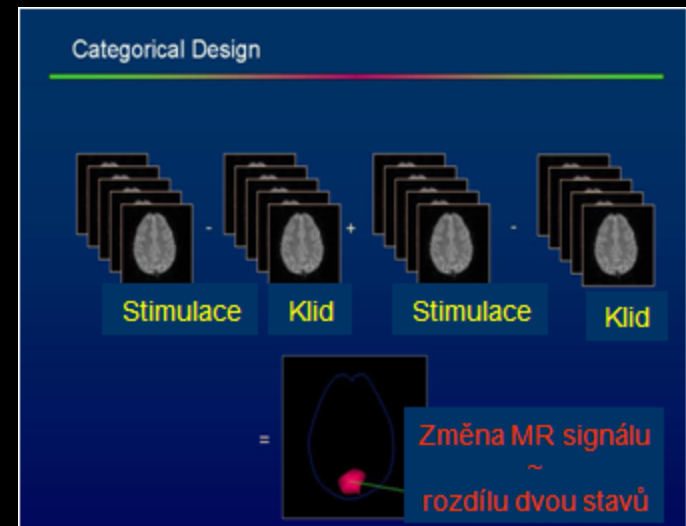
- Kortikální aktivita:
 - Přechodné zvýšení koncentrace deoxyHb → pokles T_2^* signálu
 - Vazodilatace → zvýšené prokrvení, ↓deoxyHb → nárůst T_2^* signálu



Klidový stav

fMRI vyšetření

- Vyšetření celého mozku mnohočetně opakováno
- Pacient během vyšetření vyzván k určitému druhu aktivity (pohyb prstů, řeč..) střídajícím se s klidovými úseky

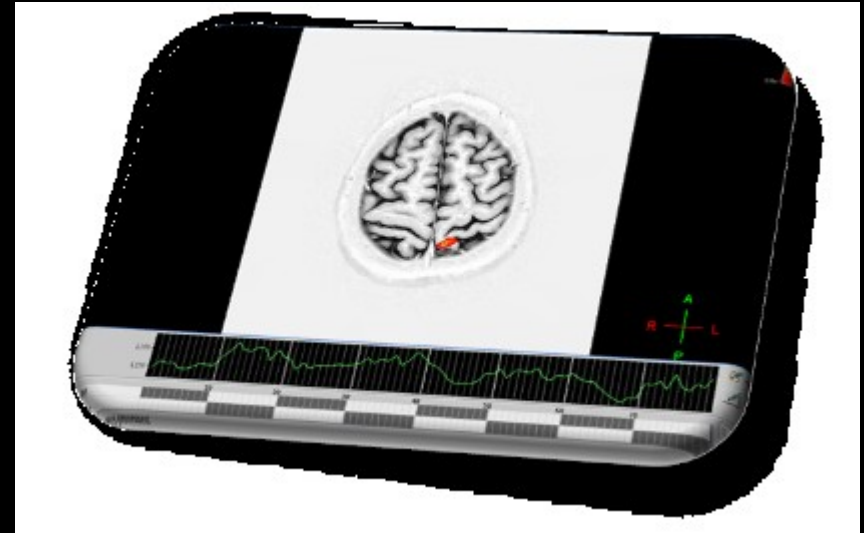
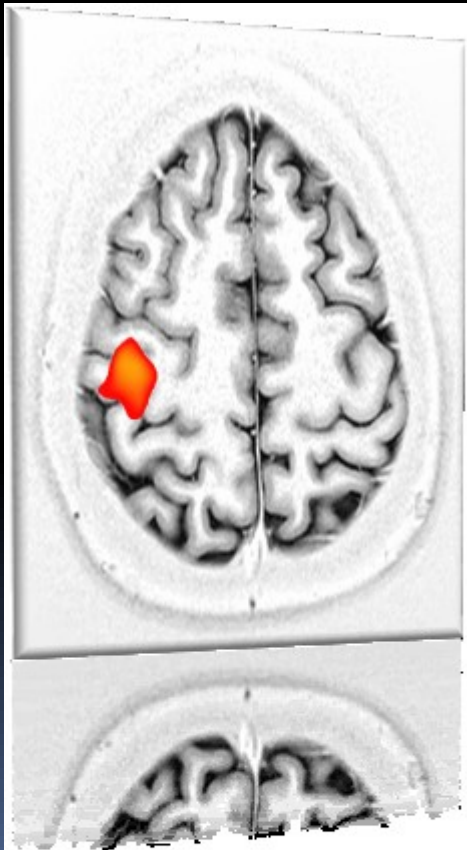


- Statistickou analýzou detekujeme rozdíl intenzity signálu v jednotlivých oblastech mozku porovnáním bloků klidu a aktivity

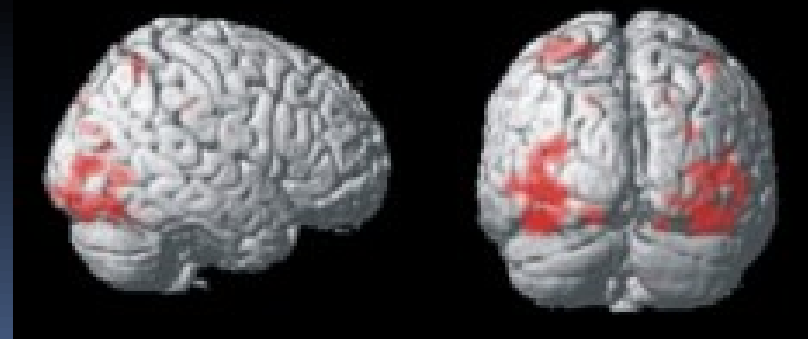
Zobrazení

Křivka intenzity signálu

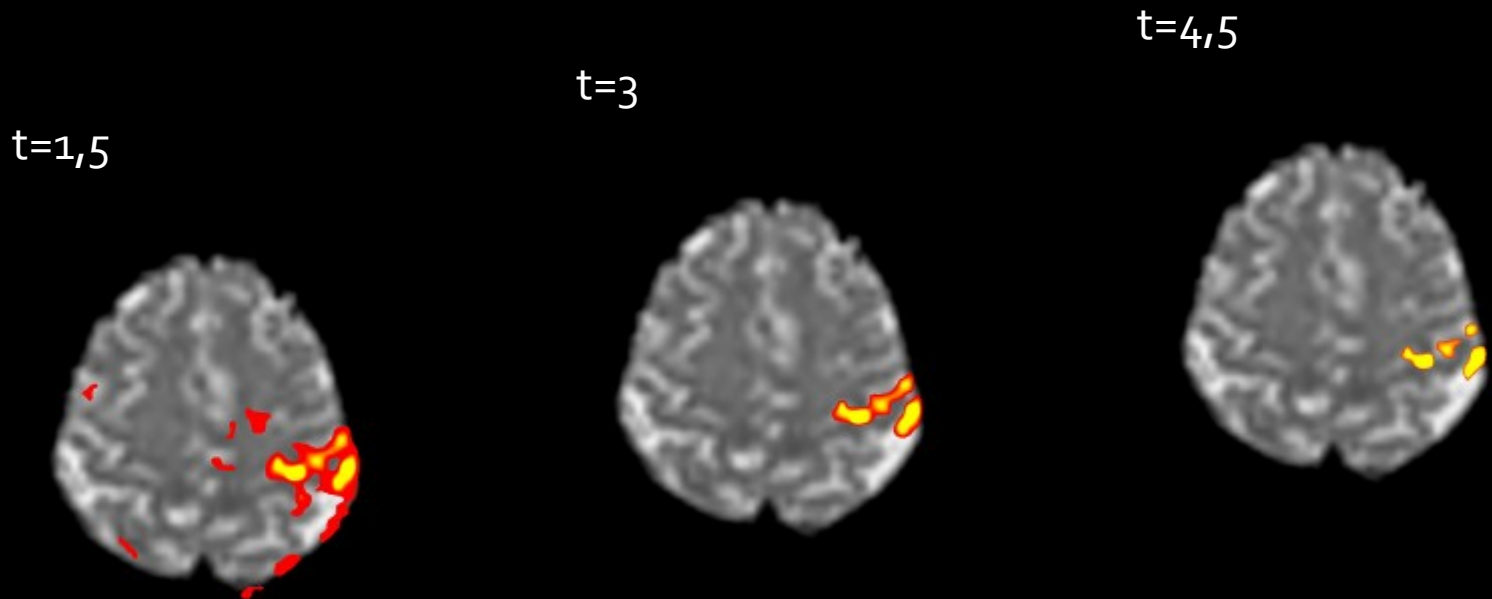
2D T1 true IR



3D



Prahování



- Nastavení prahové hodnoty významnosti statistického testu výrazně ovlivňuje vzhled výsledného obrazu map aktivace
- fMRI obraz vyjadřuje **pravděpodobnost** zapojení jednotlivých eloquentních struktur během aktivity

fMRI vyšetření motoriky

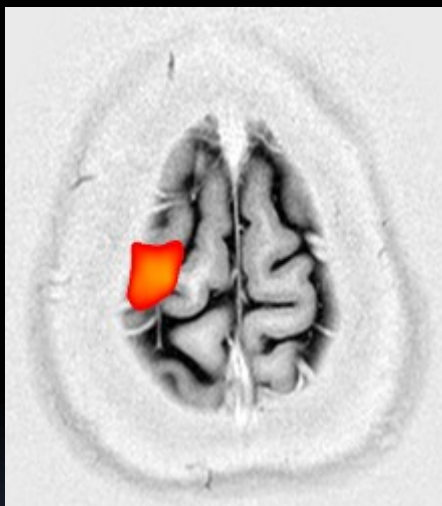
- Střídání bloků klidu a pohybu
 - Finger-tapping – pohyb prstů ruky
 - Pohyb palce nohy
- Význam pro neurochirurga:
 - Předoperační rozvaha – orientační zhodnocení rizika poškození motorického kortexu
 - Peroperační stimulace elektrodou mozkové kůry, sledování motorické odpovědi
→ fMRI usnadní navigaci stimulační elektrody

fMRI vyšetření motoriky

Pohyb → Klid → Pohyb → Klid

30s

.....



Pohyb prstů levé ruky aktivuje primární motorický kortex vpravo a SMA (supplementary motor area)



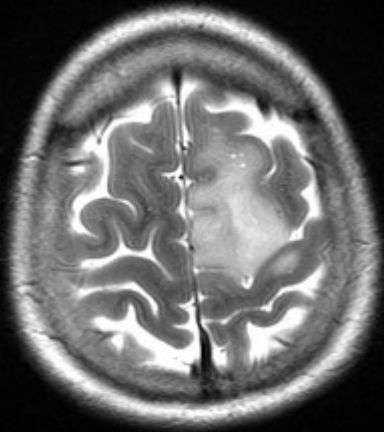
Kasuistika



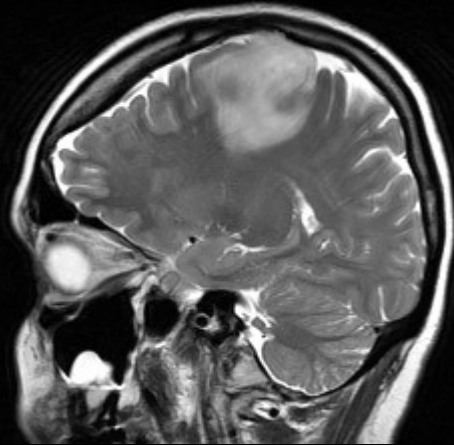
Klinika

- 40-letá pacientka
- v anamnéze st.p. hysterektomii a adnexektomii pro ca ovaria s následnou chemoterapií
- v roce 2003 údajně CMP s epileptickým paroxysmem v úvodu, epi paroxysmy přetrvávaly
- MR vyšetření V/07 s nálezem expanze vlevo frontoparietálně

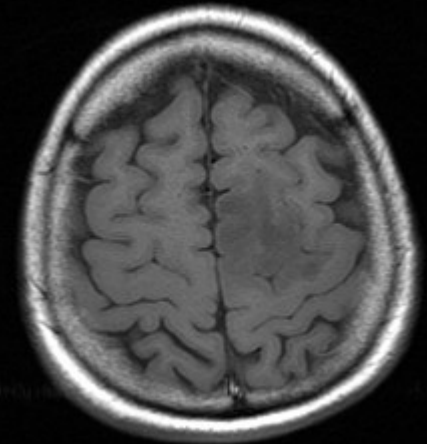
Vstupní MR vyšetření



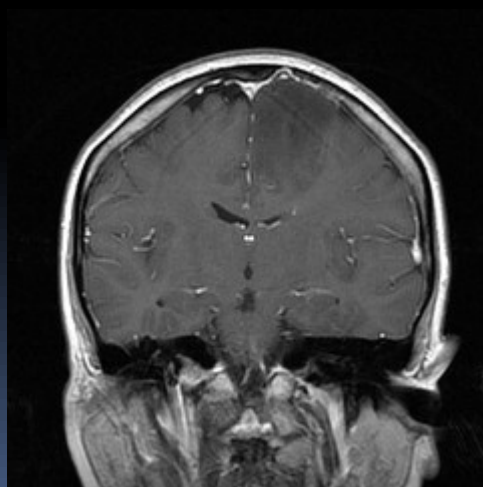
T2 trans



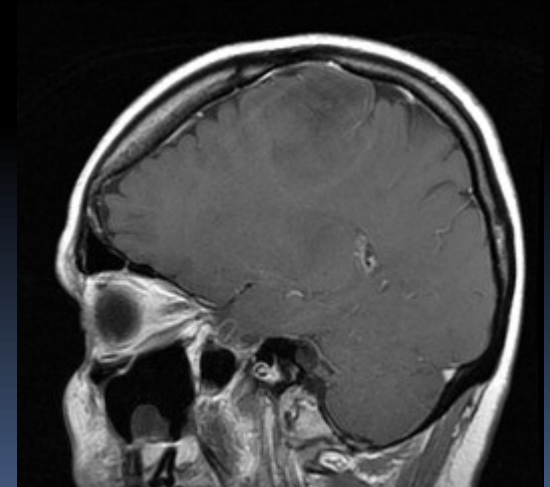
T2 sag.



T1 trans



T1 cor. CM



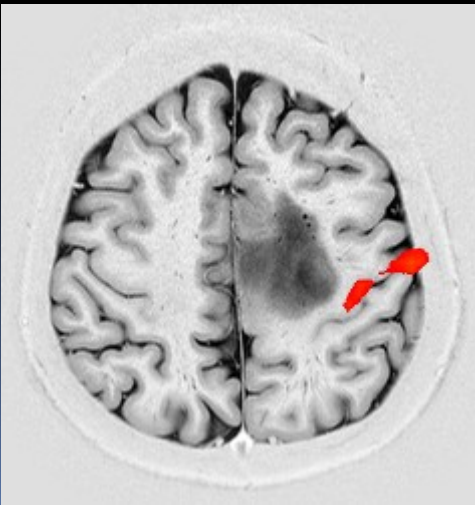
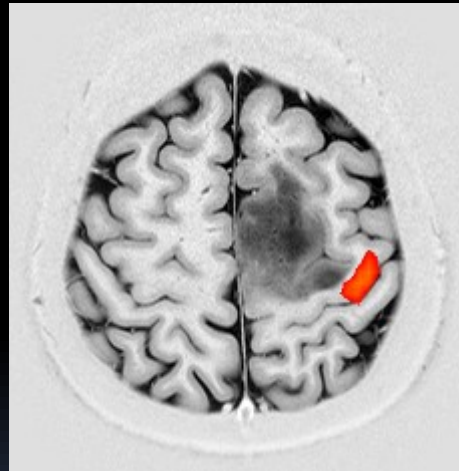
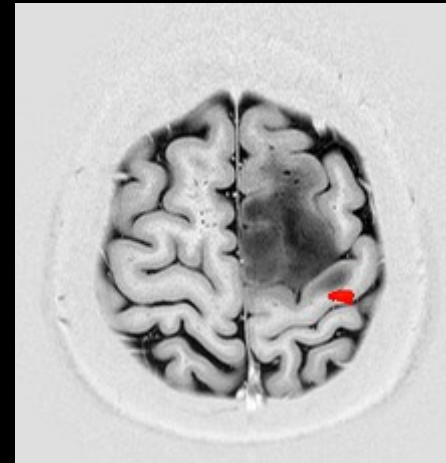
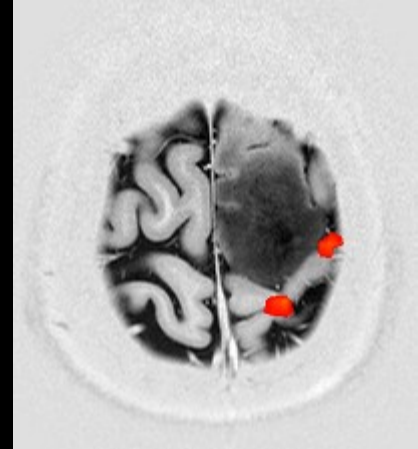
T1 sag. CM

Funkční MR

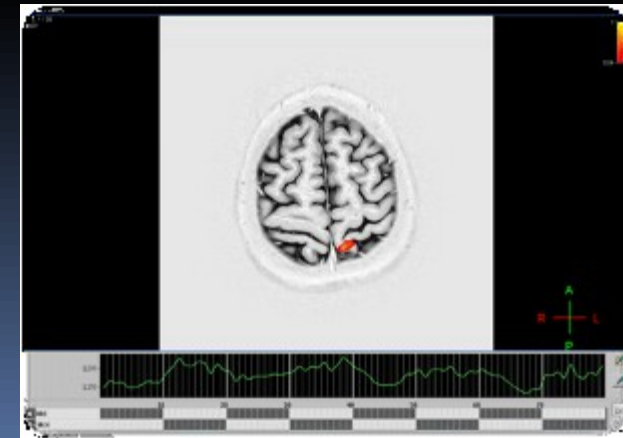
motorika prstů pravé ruky

Sekvence

- Single shot EPI
- TR 3000ms, TE 50ms
- 80 dyn. akvizic
- Overlay statistických map na referenční sken T1 true IR



Zpracování: IViewBold (Philips)

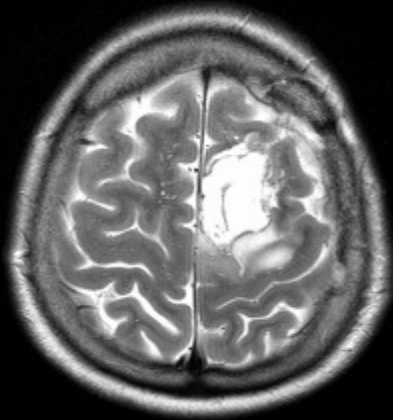


Operace

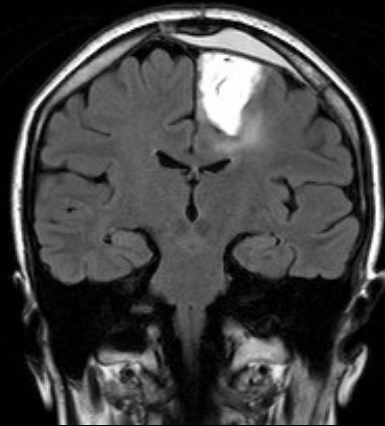
- peroperačně provedena stimulace Ojemannovým stimulátorem, daří se vybavit flexi prstů pravé ruky v místě, kde byla zobrazena aktivita na fMRI.
- Za použití stereotaktické navigace provedena parciální resekce tumoru, která ukončena asi 1cm od sulku ohraničující precentrální gyrus

Histologie: **Difuzní fibrilární astrocytom Gr. II.**

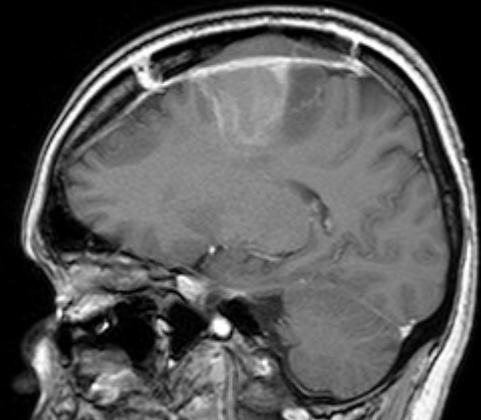
Kontrolní MR vyšetření



T2 trans

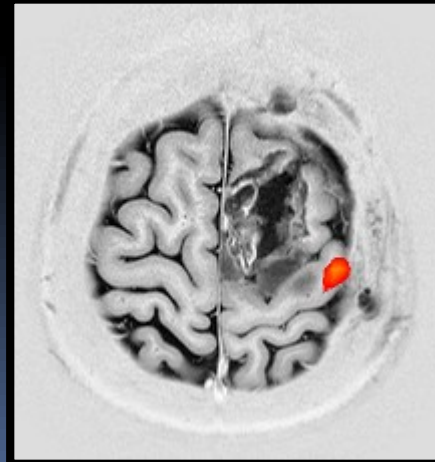


FLAIR cor.



T1 sag. CM

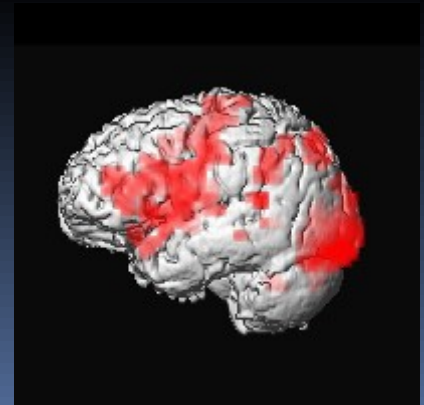
fMRI



fMRI vyšetření řečových funkcí

- Zobrazení korových elokventních struktur aktivovaných během různých řečových testů:
 - Test verbální fluence (VFT)
 - Story listening
 - Verb generation
 - Reading (sentence) comprehension

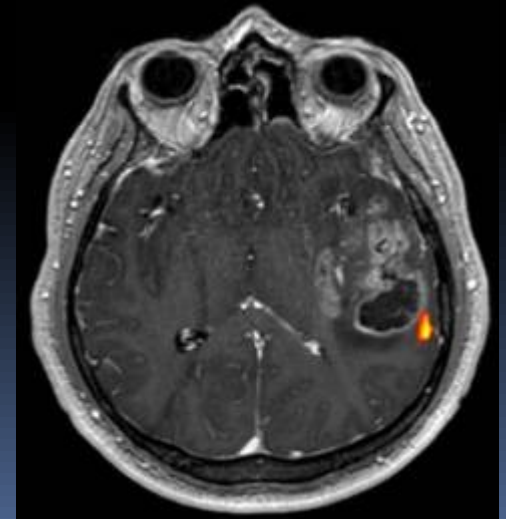
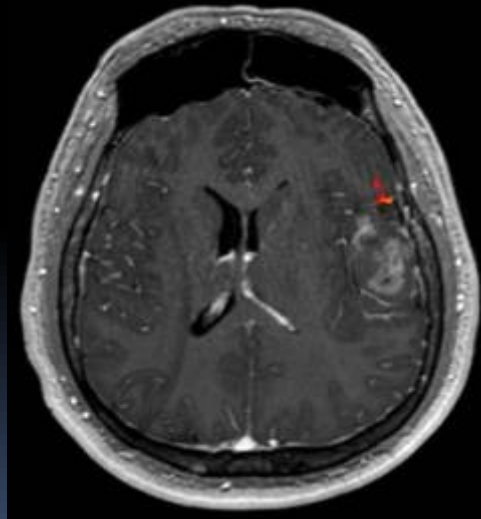
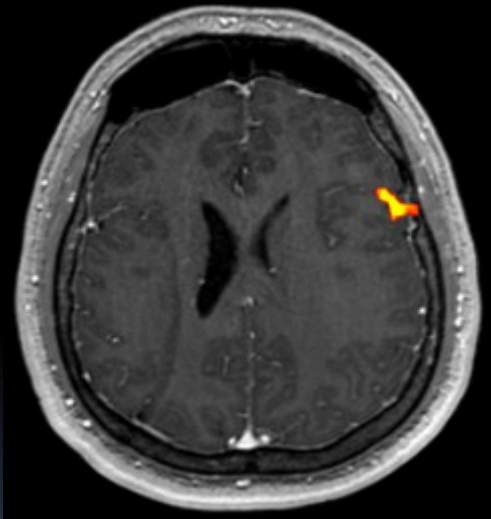
Blokový design



VFT

^{30s}T → Klid → K → Klid

.... P, V, N



Zobrazení řečových center v levé hemisféře u pacienta s high-grade gliomem v těsné blízkosti tumoru

Story listening

Poslech



Klid



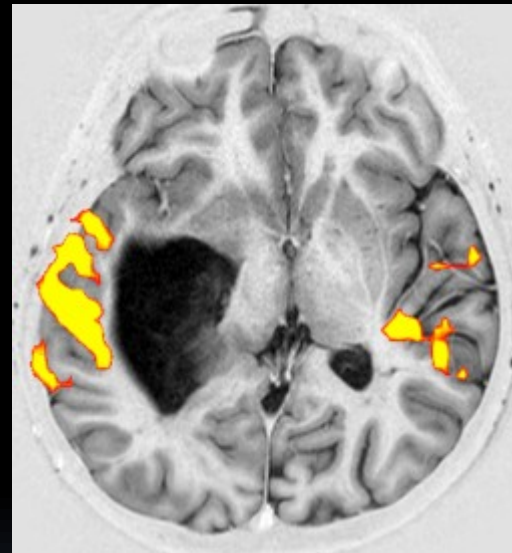
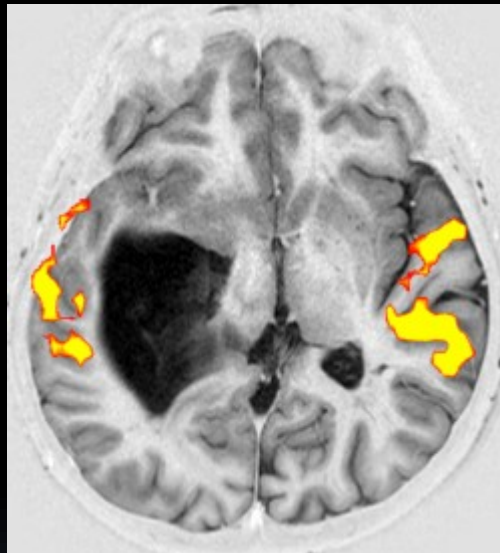
Poslech



Klid

30s


.....



Reading comprehension

- Čtení psaného textu

Význam fMRI řečových funkcí v předoperačním plánování

- Peroperační kortikální stimulace při „awake“ kraniotomii – zlatý standard lokalizace řečových kortikálních oblastí
 - technická a personální náročnost, možnost selhání při  nedostatečné spolupráci pacienta při awake kraniotomii
- Úloha fMRI:
 - stanovení lateralizace řeči
 - Předoperační zobrazení vztahu elokventních korových oblastí k tumoru (terapeutická rozvaha)
 - Peroperačně navigace stimulační elektrody

Závěr

- Kromě základního „morfologického“ zobrazení MR poskytuje množství speciálních sekvencí zaměřených na funkci či ultrastrukturální patologii tkání a orgánů
- Sofistikované výpočetní zpracování