

# ZOBRAZENÍ MYELOARCHITEKTURY MOZKOVÉ KŮRY T2 VÁŽENÝMI OBRAZY S VYSOKÝM KONTRASTNÍM A PROSTOROVÝM ROZLIŠENÍM NA 3T MRI

HIGH CONTRAST AND SPATIAL RESOLUTION T2 WEIGHTED IMAGES USING 3T MRI: IMAGING OF THE CEREBRAL CORTICAL MYELOARCHITECTURE

původní práce

Jiří Ferda  
Jan Kastner  
Hynek Mírka

Klinika zobrazovacích metod LF UK  
a FN, Plzeň

Přijato: 1. 2. 2011.

**Korespondenční adresa:**

doc. MUDr. Jiří Ferda, PhD.  
Klinika zobrazovacích metod LF UK  
a FN  
Alej Svobody 80, 306 40 Plzeň  
e-mail: ferda@fnplzen.cz

## SOUHRN

**Ferda J, Kastner J, Mírka H. Zobrazení myeloarchitektury mozkové kůry T2 váženými obrazy s vysokým kontrastním a prostorovým rozlišením na 3T MRI**

**Cíl.** Posoudit, zda je možné zobrazit strukturální odlišnosti v normální šedé hmotě v závislosti na její myeloarchitektuře.

**Materiál a metoda.** Pomocí T2 vážených obrazů s rozlišením interpolovaným na matici  $1024 \times 1024$  bylo sledováno u 20 vyšetření mozku, zda je možné rozlišit strukturální změny šedé hmoty precentrálního a postcentrálního gyru. Vyšetření byla prováděna na 3T MRI s dvacetikanálovou hlavovou cívkou T2 sekvencí rychlého spinového echa.

**Výsledky.** Celkem u 18 z 20 nemocných byly pozorovány vrstevnaté struktury v šedé mozkové hmotě, které dovolily odlišit šedou hmotu motorické a senzitivní oblasti.

**Závěr.** Pomocí T2 vážených obrazů s rozlišením interpolovaným na matici  $1024 \times 1024$  lze na 3T MRI diferencovat jednotlivé vrstvy odlišující myeloarchitektonické oblasti mozkové kůry.

**Klíčová slova:** 3T MRI, myeloarchitektura, šedá hmota.

## SUMMARY

**Ferda J, Kastner J, Mírka H. High contrast and spatial resolution T2 weighted images using 3T MRI: imaging of the cerebral cortical myeloarchitecture**

**Aim.** To assess if it is possible to distinguish structural differences in grey matter depending on its myeloarchitecture.

**Material and method.** Using T2 weighted images with interpolated resolution matrix of  $1024 \times 1024$  pixels, it is possible 20 examinations were evaluated, the structural differences between precentral and postcentral gyri were assessed. All examinations were performed using 3T MRI with dedicated 20-channel head coil using turbo spin echo sequence.

**Results.** In 18 of 20 examinations, layering of the grey matter was observed. Thanks the differences in layering was possible to distinguish the motor and sensitive cortical areas.

**Conclusion.** Using T2 weighted images with interpolated resolution matrix of  $1024 \times 1024$  pixels is possible to distinguish layers within the grey matter, which differ several myeloarchitectural areas of brain cortex.

**Key words:** 3T MRI, myeloarchitecture, grey matter.

## ÚVOD

Šedá hmota telencefala se rozděluje na šedou hmotu mozkové kůry a šedou hmotu bazálních ganglií. Mozková kůra pokrývá gyry jednotlivých mozkových laloků. Fylogeneticky se jedná o nejvyvinutější část neuroektodermu, u člověka dosáhla evolučně nejvyššího stupně vývoje. Šedá kůra mozková zastává v jednotlivých oblastech mozkových hemisfér odlišné funkce a také se vzájemně odlišuje svojí strukturou: buněčností, upřaděním svazků axonů aj.

Při zobrazení magnetickou rezonancí se v jednotlivých sekvencích více či méně odlišuje signál bílé a šedé mozkové hmoty. Při použití konvenčního zobrazení mozkové tkáně T2 váženými sekvencemi rychlého spinového echa pomocí 1,5T přístroje je struktura šedé hmoty víceméně homogenní, bez diferencovatelných strukturálních změn. Vzhledem k tomu, že použitím 3T přístroje MRI je možné využít zvýšené kvality signálu pro zobrazení tkání (1, 2), pokusili jsme se zaměřit na zobrazení myeloarchitektonických rozdílů šedé kůry mozkové (3) pomocí T2 vážených sekvencí provedených přístrojem s indukcí pole 3T (4). Cílem práce bylo prokázat, zda je pomocí 3T MRI možné diferencovat jednotlivé myeloarchitektonické typy mozkové kůry, výsledky předkládá prezentované sdělení.

## MATERIÁL A METODA

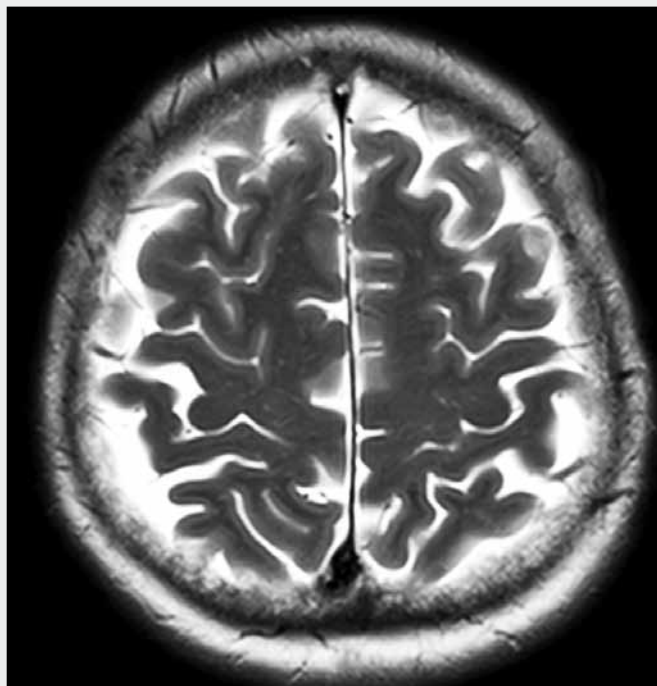
V souboru jsme porovnali 20 vyšetření nemocných vyšetřených pomocí 3T MRI, kdy nebyly nalezeny žádné patologické změny.

Vyšetření byla prováděna pomocí přístroje MRI s indukcí magnetického pole 3T (Magnetom Skyra, Erlangen, Siemens Healthcare, Německo), slew rate 45 mT/m, 128 přijímacích kanálů s použitím paralelní transmisní techniky. Zobrazení mozku probíhalo v dedikované hlavové cívce s dvaceti přijímacími elementy T2 váženými sekvencemi rychlého spinového echa (TSE) s následujícími parametry: TR 6000 ms, TE 100 ms, field-of-view 220 × 220 mm, phase-oversampling 50 %, flip angle 150 st., iPAT faktor 2, šíře vrstvy 4 mm, 512 × 512 měřených bodů, obraz interpolován na 1024 × 1024 bodů, kdy jeden výsledný pixel dosahuje 0,2 × 0,2 mm. Doba měření sekvence je 4 min 32 s. Původní sekvenci doporučenou výrobcem zařízení jsme upravili tak, že bylo použito vyššího prostorového rozlišení z matrice 256 × 256 měřených bodů na 512 × 512 měřených bodů s interpolací na zobrazení pomocí 1024 × 1024 bodů, dále jsme zvýšily phase-oversampling na 50 %, doba skenování se tak prodloužila o 2 minuty.

Při analýze dat jsme se zaměřili na možnost odlišit strukturální změny v šedé kůře precentrálního a postcentrálního gyru a dále možnost vysledovat i myeloarchitektonické změny v dalších dobře definovatelných oblastech mozkové kůry. Dále jsme hodnotili kvalitu zobrazení s ohledem na úroveň šumu.

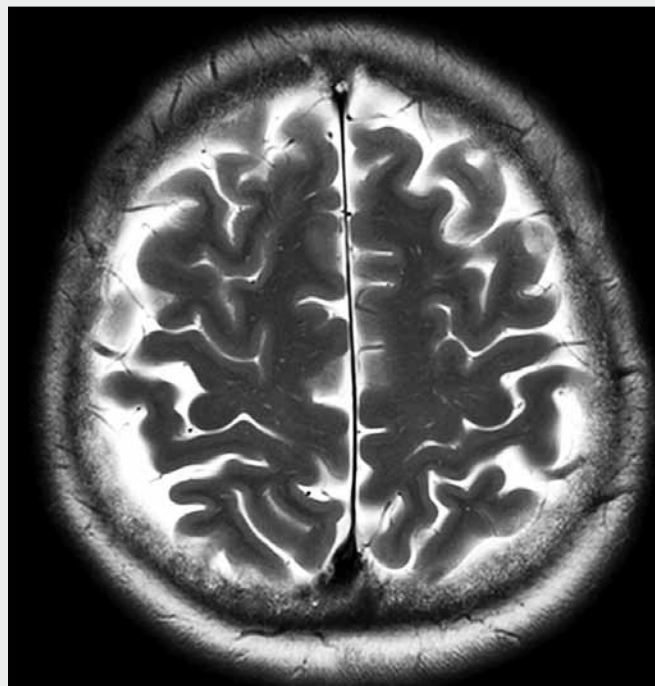
## VÝSLEDKY

Celkem u 18 z 20 vyšetření bylo možné diferencovat odlišnou strukturu šedé mozkové kůry precentrálního a postcentrálního gyru pomocí 3T MRI. V postcentrálním gyru byly nalezeny dva hypointenzivní proužky paralelně probíhající



▲ Obr. 1

Obr. 1. Zobrazení mozku pomocí 3T MRI s rozlišením 256 × 256 měřených bodů  
Fig. 1. Brain image using 3T with the resolution of 256 × 256 measured pixels



▲ Obr. 2

Obr. 2. Zobrazení mozku pomocí 3T MRI s rozlišením 1024 × 1024 interpolovaných bodů  
Fig. 2. Brain image using 3T with the resolution of 1024 × 1024 interpolated pixels

s povrchem gyru v relativně široké vrstvě hyperintenzivního pruhu šedé hmoty. Naproti tomu v precentrálním gyru byl signál šedé a bílé hmoty téměř vyrovnaný, kdy paralelně s povrchem gyru probíhal jen jeden relativně široký hypointenzivní pruh.

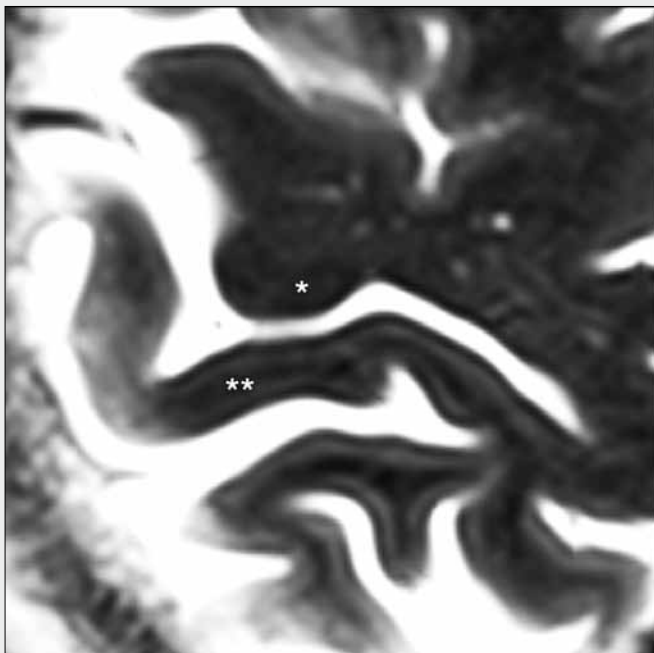
## DISKUSE

Evolučním vývojem mozku u vyšších savců a nejvíce u vyšších primátů (5–7) došlo k rozvoji takzvaného neopallia, které zaujalo naprostou většinu povrchu gyrů mozkových hemisfér telencefala. Vývojově starší části kůry palaeopallium a archipallium jsou sice funkčně velmi významnými strukturami, avšak zaujímají jen minimální prostor kolem střední čáry ve frontálních lalocích a dále v mediálních oblastech spánkového laloku. Mezi nejvýznamnější struktury vývojově starší části mozkové kůry patří hippocampus tvořený archikortexovou tří- až čtyřvrstevnou formací. Kůra vznikající z neopallia je nazývána také isocortex či neocortex, neboť má prakticky uniformní buněčnou architekturu – šestivrstevnou stavbu s místními modifikacemi.

Isocortex se tedy skládá s šesti vrstev (laminae I–VI), které jsou charakteristické uniformitou buněčných struktur. Buněčná struktura a struktura vrstev je v celém isocortexu téměř shodná, liší se jen poměr zastoupení buněk v jednotlivých vrstvách a také množství axonálních vláken v jednotlivých laminách. Podle zastoupení jednotlivých buněk byly vytvořeny mapy odrážející cytoarchitektonické odlišnosti. Brodman publikoval v roce 1907 mapu, jež dělí mozek na 52 oblastí (areae), a jeho členění je užíváno dosud.

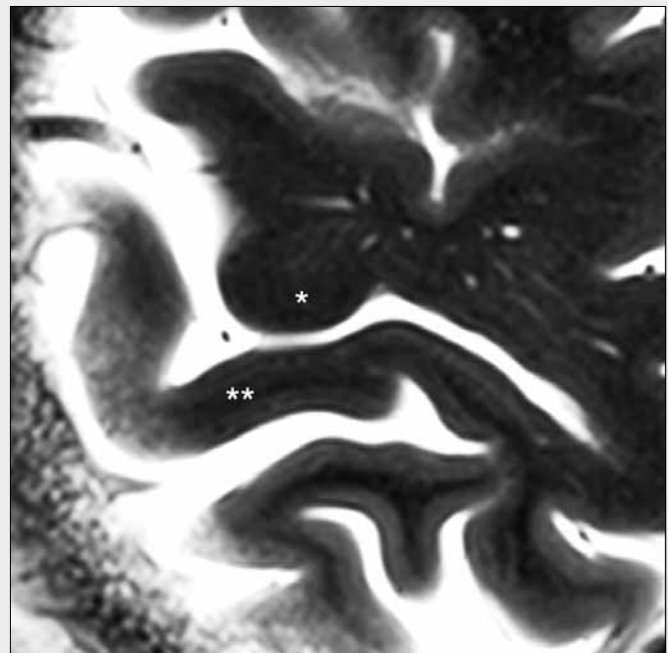
Kromě členění na cytoarchitektonické oblasti je možné pozorovat i rozdílné zastoupení počtu a hustoty vláken axonů probíhajících paralelně s povrchem kůry v jednotlivých vrstvách. Nejvíce jsou tato vlákna přítomna v lamina I, lamina IV a lamina V. Množství vláken odlišuje vzájemně především motorické oblasti od senzoryckých a senzitivních oblastí. U senzitivních oblastí je výrazně vytvořena vrstva vláken v laminae I a II a dále v laminae IV a V. V lamina I jsou uložena ve velkém množství dendritická vlákna hlouběji uložených neuronů. Ve IV. a V. lamině jsou přítomny výrazně vytvořené vrstvy silně myelinizovaných vláken probíhajících paralelně s povrchem gyru – tzv. zevní a vnitřní Baillargerova strie – velmi výrazné jsou svazky myelinizovaných vláken IV. vrstvy, například u zrakové kůry nebo v dorzálních částech postcentrálního gyru. Toto jsou hlavní struktury odlišující senzitivní (a také senzorycké) oblasti od oblastí motorických. U motorické oblasti je výrazně vytvořena vrstva dendritů ve II. lamině, hlubší vrstvy obsahují především Betzovy pyramidální buňky, které vysílají velké množství myelinizovaných axonů směrem do podkorových oblastí šedé hmoty.

Z výše uvedených odlišností v architektuře mozkové kůry je možné vyvodit závěry podporující naše pozorování: v šedé hmotě postcentrálního gyru (senzitivní oblasti) je možné jako hypointenzivní pruh těsně pod povrchem gyru pozorovat laminu II, dále následuje relativně široká a relativně hypersignální lamina III, pod ní je pozorovatelná jako hyposignální silně myelinizovaná zevní Baillargerova strie. Tento typ vrstvení je nejvýraznější na zadní ploše postcentrálního gyru. Motorickou kůru odlišuje pozorování jen jediné lineární struktury, další hlubší vrstvy jsou pozorovatelné obtížněji, neboť obsahují velké množství myelinizovaných vláken – a to



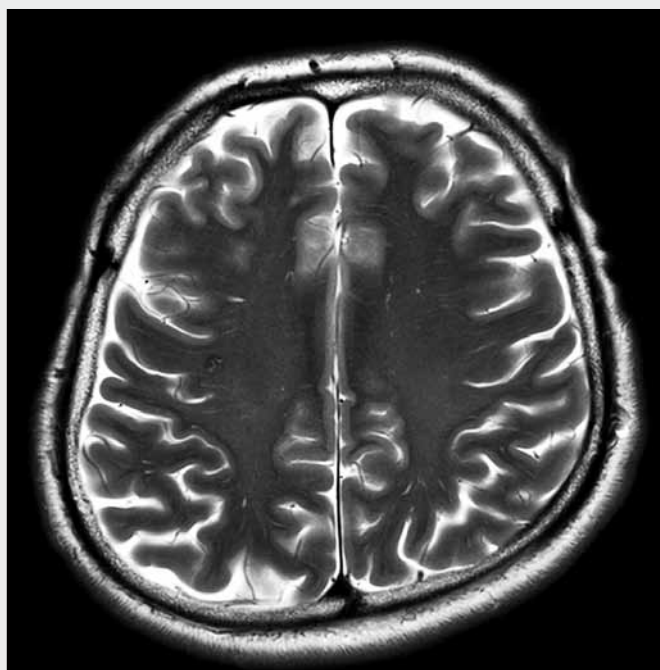
▲ Obr. 3

Obr. 3. Rozdíly v myeloarchitektuře šedé hmoty s rozlišením 256 × 256 měřených bodů v motorické (\*) a senzitivní (\*\*) kůře  
Fig. 3. Differences in myeloarchitecture of the grey matter with the resolution of 256 × 256 measured pixels in motor (\*) and sensitive (\*\*) cortex

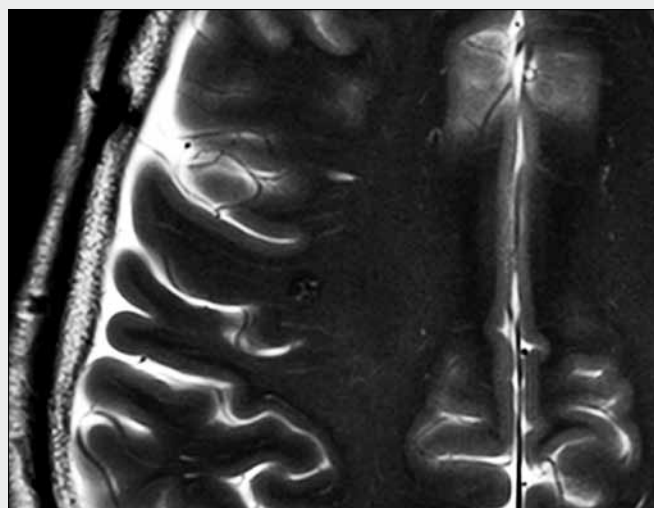


▲ Obr. 4

Obr. 4. Rozdíly v myeloarchitektuře šedé hmoty s rozlišením 1024 × 1024 měřených bodů v motorické (\*) a senzitivní (\*\*) kůře  
Fig. 4. Differences in myeloarchitecture of the grey matter with the resolution of 1024 × 1024 interpolated pixels in motor (\*) and sensitive (\*\*) cortex



Obr. 5. Kavernom mozku v precentrálním gyru, zobrazení mozku pomocí 3T MRI s rozlišením  $1024 \times 1024$  interpolovaných bodů  
 Fig. 5. Brain cavernoma in precentral gyrus, using 3T with the resolution of  $1024 \times 1024$  interpolated pixels



▲ Obr. 6

◀ Obr. 5

Obr. 6. Kavernom mozku v precentrálním gyru, zobrazení mozku pomocí 3T MRI s rozlišením  $1024 \times 1024$  interpolovaných bodů, zvětšený obraz ukazuje rozdíly ve vrstvení šedé hmoty v jednotlivých gyrech  
 Fig. 6. Brain cavernoma in precentral gyrus, zoomed image using 3T with the resolution of  $1024 \times 1024$  interpolated pixels showed the differences in myeloarchitecture of the grey matter in several gyri

je rovněž důvod, proč se signál oblastí primární motorické oblasti na zadní ploše precentrálního gyru přibližuje signálu bílé hmoty. Při sledování jednotlivých oblastí mozku je na 3T zobrazení možné dále vysledovat další zvýšení vrstevnatosti v oblasti primárního zkravového kortexu – je zde přítomno několik dalších podvrstev lamina IV; naopak oblast archaeocortexu v hippocampu vrstevnatost zcela postrádá.

U vyšetření 1,5T je možné diferencovat jen lehce odlišný signál šedé hmoty precentrální a postcentrální oblasti, jednotlivé struktury uvnitř šedé hmoty není možné pozorovat.

Z hlediska techniky zobrazení mozkové tkáně pomocí 3T magnetické rezonance se uplatní jednak výrazné zvýšení poměru signálu a šumu, které dovoluje zkrácení vyšetřovacího času i při akvizici dat s vyšší prostorovým rozlišením (1, 2). Při použití sekvence se zobrazením v rozlišení 512 na 512 měřených bodů je poměr signálu ku šumu u 3T výrazně vyšší. Při stejném prostorovém rozlišení dovoluje zobrazení 3T odlišit kontrastně jednotlivé vrstevnaté struktury v šedé hmotě také díky změně T2 relaxace, která se zkracuje zhruba o 15 %. Zkrácení relaxačního času u 3T dovoluje společně s vyšším odstupem signálu od šumu registrovat změny v koncentraci myelinu v jednotlivých laminách šedé hmoty. Proto se objevuje na zobrazení vrstvení šedé hmoty, u něhož je možné vysledovat typizaci podle jednotlivých oblastí mozkové kůry. Neprováděli jsme zobrazení s T1 váženými sekvencemi, neboť změny relaxačního času a z něj rezultující změny signálu T1 podléhají složitějším změnám při posunu od 1,5T k 3T (4).

Techniku T2 vážených obrazů s vysokým kontrastním a prostorovým rozlišením je možné využít k jednoduché identifikaci centrálního sulku prostřednictvím typického

obrazu motorické kůry na zadní ploše precentrálního gyru, kdy současně lze dobře odlišit odlišnou strukturu zadní plochy postcentrálního gyru. Toto odlišení přispívá k rychlejšímu odlišení centrálního sulku v někdy nepřehledné situaci na úrovni insulární krajiny, kdy tento sulcus je možné vysledovat jen kontinuálním sledováním od parietální oblasti.

Velmi významným faktorem při zobrazování jednotlivých lamin šedé hmoty je i prostorové rozlišení, pokud je zvoleno rozlišení  $256 \times 256$  bodů, není prostorové rozlišení už dostatečné k tomu, aby bylo možné jednotlivé vrstvy zachytit v sousedních pixelech.

Interpolované zvýšení matice zobrazení bylo zvoleno v našem protokolu z důvodu možnosti lepšího zvětšení obrazu bez rozpadu jednotlivých pixelů. Interpolace dovoluje plynulé zvětšení obrazů se snížením pixel-efektu i při zvětšení na dvojnásobnou velikost.

Pokud je možné porovnat kontrastní změny ve struktuře šedé hmoty u T2 vážených obrazů rychlého spinového echa (TSE) a jiných T2 vážených sekvencí, tak je zřetelné, že odlišení jednotlivých lamin nabízí ještě technika inversion recovery s potlačení signálu likvoru v kombinaci se spektrální saturací signálu tuku (turbo-inversion-recovery-fluid-attenuated with spectral fat saturation – TIRM T2 FLAIR FS). V této sekvenci je vrstvení diferencovatelné, sekvence však trpí tím, že na stejné rozlišení je potřeba výrazně vyššího času měření. Naproti tomu 3D SPACE nedovolují vrstvení zobrazit, neboť se zde uplatňuje výrazné interference se stimulovanými echy, která snižuje T2 kontrast obrazů (1).

Využití zobrazení šedé mozkové kůry s vysokým kontrastním a prostorovým rozlišením pomocí vysokého pole je jistě



předmětem diskuse ve smyslu detekce patologických stavů. Zatím nejsou prostudovány jednotlivé změny v myeloarchitektuře ve vztahu ke studiu jednotlivých onemocnění šedé mozkové hmoty, experimentální studie většinou zobrazují mozek post mortem s fixací formalinem, kdy jsou využívány sekvence u živého objektu příliš zatěžující vyšetření artefakty (4). Nabízí se však využití těchto zobrazení s vysokým rozlišením k lokalizaci a fúzi funkčního vyšetření MRI technikou BOLD. Vyšší prostorové a kontrastní rozlišení BOLD techniky přináší lepší prostorové rozlišení aktivačních map a ve spojení myeloarchitektonického obrazu bude jistě možné využít jejich fúzi ke zlepšení předoperačního plánování. Budoucí využití je však možné vidět i v potenciálním sledování vývoje struktury šedé hmoty v průběhu stárnutí mozku, neurodegenerativních onemocnění i v průběhu vývoje demyelinizačních nebo nádorových onemocnění. Jelikož techniku zobrazení T2

váženými obrazy s vysokým kontrastním a prostorovým rozlišením jsme začlenili do rutinního protokolu zobrazení mozku, v dalším sledování bude možné posoudit přínos sledování změn šedé hmoty i u patologických stavů

## ZÁVĚR

Naše pozorování potvrdilo, že je možné diferencovat jednotlivé myeloarchitektonické typy šedé kůry mozkové pomocí zobrazení s vysokým kontrastním a prostorovým rozlišením, kdy vyšetřovací sekvence vykazuje robustní stabilitu kvality zobrazení v přijatelném měřicím čase. Dle typického obrazu je možné jednoduše identifikovat primární sulcus centralis na jednotlivých axiálních obrazech mozku bez nutnosti kontinuálního sledování průběhu centrálního sulku od temene hlavy.

## LITERATURA

1. **Tintěra J.** MR zobrazování s magnetickým polem 3T: teoretické aspekty a praktická srovnání s 1,5T. *Ces Radiol* 2008; 62(3): 233–243.
2. **Stabisz GJ, Odrobina EE, Pun J, et al.** T1 and T2 relaxation and magnetization transfer in tissue at 3T. *Magn Reson Med* 2004; 52: 507–512.
3. **Čihák R.** Stavba mozkové kůry. In: *Anatomie 3*. Praha: Grada Publishing 1997; 372–392.
4. **Eickhoff S, Walters NB, Schleicher A, Kril J, Egan GF, Zilles K, Watson JD, Amunts K.** High-resolution MRI reflects myeloarchitecture and cytoarchitecture of human cerebral cortex. *Hum Brain Mapp* 2005; 24(3): 206–215.
5. **Krubitzer LA, Kaas JH.** The dorsomedial visual area of owl monkeys: connections, myeloarchitecture, and homologies in other primates. *J Comp Neurol* 1993; 334(4): 497–528.
6. **Krubitzer LA, Calford MB.** Five topographically organized fields in the somatosensory cortex of the flying fox: microelectrode maps, myeloarchitecture, and cortical modules. *J Comp Neurol* 1992; 317(1): 1–30.
7. **Van Essen DC, Maunsell JH, Bixby JL.** The middle temporal visual area in the macaque: myeloarchitecture, connections, functional properties and topographic organization. *J Comp Neurol* 1981; 199(3): 293–326.