

ZOBRAZOVACÍ METODY V NEUROLOGII

doc. MUDr. Petr Krupa, CSc. – editor hlavního tématu

MUDr. Marta Pažourková

Klinika zobrazovacích metod LF MU, FN u sv. Anny, Brno

Zobrazovací metody patří k oborům, které zaznamenaly za posledních patnáct let největší rozvoj a modernizaci a to nejen přínosem nových vyšetřovacích zobrazovacích principů, ale také stálým zdokonalováním metod již stávajících. Současně byly vyvinuty systémy digitalizace obrazu, elektronické archivace a přenášení obrazu, které vyústily v bezfilmové nemocnice a v popisování na dálku ve smyslu telemedicíny. Tyto technologie usnadňují 3D zpracování v realitě, funkční vyšetřování magnetickou rezonancí a spektrální analýzu tkání magnetickou rezonancí. Uvedené příspěvky mohou přispět čtenáři k většímu rozhledu, zvláště v souvislostech, že se s popsávanými technikami může neurolog setkat i v praxi.

Klíčová slova: zobrazovací metody, pozitron emisní tomografie PET, digitální subtrakční angiografie DSA, multidetektorová výpočetní tomografie MDCT, fMR, SMR.

Zobrazovací metody

Zdálo by se, že některé moderní techniky zobrazení a na ně navazující technologie, popisované v následujících článcích, nebudou neurologii zajímat. Ze své dlouholeté spolupráce s těmito odborníky však vím, že se jedná o lékaře s velice vysokou úrovní vzdělání, které zajímá jakákoliv technika, která se může jejich pacientů dotknout a že chtějí být připraveni na řešení problému svých pacientů i v případech použití takovýchto technik.

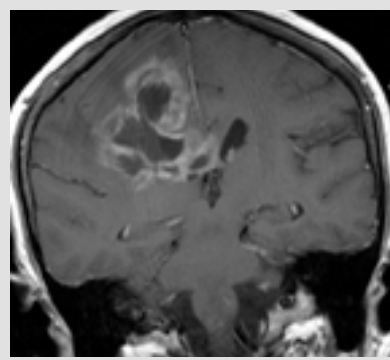
Dovolím si proto nejdříve předestřít škálu zobrazovacích technik diagnostických, přímo nebo nepřímo dostupných prakticky každému neurologovi, následně chci předat slovo specialistovi na funkční magnetickou rezonanci (fMR) – techniku nepochybně lákavou pro každého neurologa, ze stejných důvodů si dovoluji nabídnout výklad spektroskopie magnetickou rezonancí (SMR) prostřednictvím exkluzivního pohledu fyzika, jehož náplní je především zkoumání a vývoj speciálních sekvencí pro správnou

aplikaci a funkci spektroskopie magnetickou rezonancí a nakonec si dovoluji se dotknout s neurologií zdánlivě nesouvisejícího tématu – totiž trojrozměrným zobrazením a to nejen virtuálním, ale i realizovaným do skutečných modelů a jejich některými možnostmi použití v medicíně.

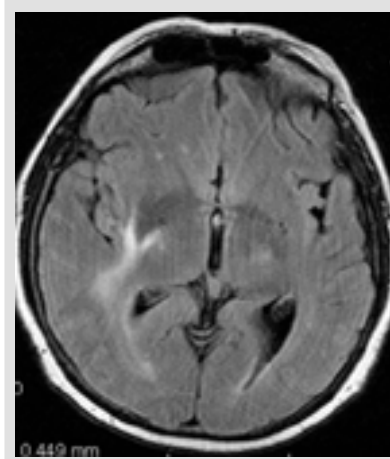
Možnosti moderních zobrazovacích metod používaných v neuroradiologii jsou značně

široké, protože zahrnuje dnes klasické nativní rtg snímky, multidetektorovou výpočetní tomografii – MDCT s možností vyšetření CT angiografie, pozitron emisní tomografie PET a především vyšetření magnetickou rezonancí, které také umožňuje podrobně zobrazit strukturu centrálního nervového systému – CNS z „různých pohledů“ – různými sekvencemi, zachytit intrakraniální tepenný i žilní systém

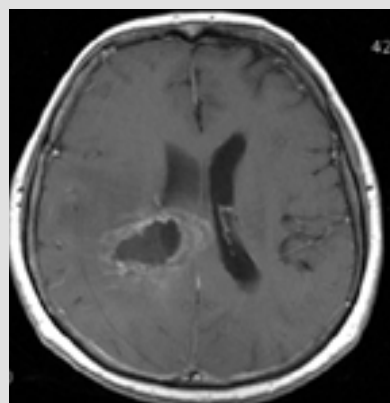
Obrázek 1b. MR – T1 vážený obraz po aplikaci kontrastní látky intravenózně – koronární řez



Obrázek 1c. MR – FLAIR – příčný řez



Obrázek 1a. Pacientka: 60 let se středně těžkou levostrannou hemiparézou způsobenou neoperabilním, stereobiopicky ověřeným anaplastickým astrocytome Gr 3 vpravo parietálně, postihujícím i středočárové struktury. Kolaterální edém a postradiační změny bílé hmoty postihují i zadní raménko caps. interna a caps. externa. MR – T1 vážený obraz po aplikaci kontrastní látky intravenózně – příčný řez



Obrázek 2. Pacientka: 76 let s levostrannou hemiparézou a poruchou vědomí – na CT zjištěn objemný, ne zcela homogenní – v. s. postupně narůstající intracerebrální hematóm vpravo frontálně vzniklý během cílené trombolýzy uzávěru a. femoralis superfic. dx. CT nativ



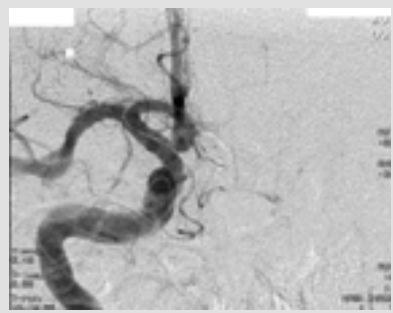
Obrázek 3a. Pacientka: 38 let s generalizovaným tonicko-klonickým záchvatem, somnolencí, dezorientací, meningeálním syndromem a pyramidovou iritací. CT nativ



Obrázek 3b. CT aneuryzma v oblasti a. com ant. na subvrstvě zhotovené CT angiografie



Obrázek 3e. DSA kontrolní nástřik aneuryzmatu po mikroembolizaci – kontrastní látka do vaku neproniká



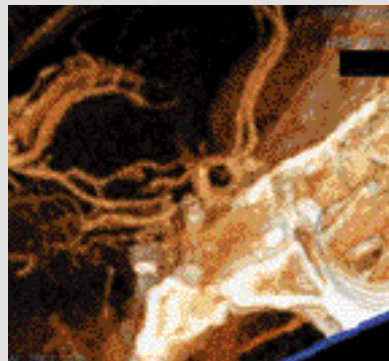
Obrázek 5b. Stenóza na a. carot. int. vlevo



MR angiografií, doplnit „funkční“ pohled MR difúzí a perfúzí a zmapovat reálně funkční mozkovou tkáň zobrazováním funkční aktivity mozku fMR a MR spektroskopie.

Je-li to nutné doplňuje se spektrum vyšetření invazivní metodou DSA s aplikací kontrastní látky intraarteriálně při selektivní či supraselektivní katetrizaci mozkových tepen,

Obrázek 3c. CT VR rekonstrukce aneuryzmatu



Obrázek 4. Pacientka: 91 let s těžkou levostrannou hemiparézou. Akutně provedené CT prokazuje čerstvou, lehce expanzivně se chovající ischemii v oblasti bazálních ganglií vpravo. CT nativ

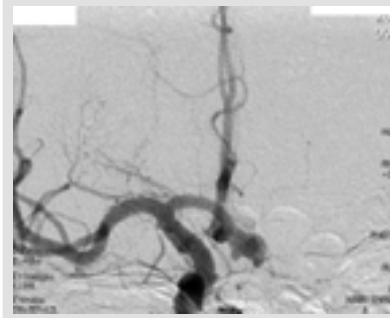


Obrázek 5c. DSA stav po angioplastice a implantaci stentu

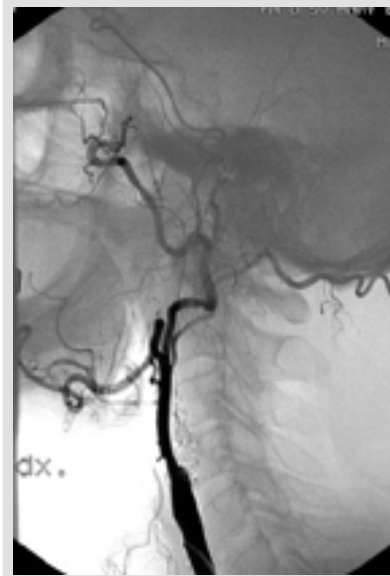


MR zobrazení míchy a páteřního kanálu i periferních plexů je možné klasicky doplnit

Obrázek 3d. DSA aneuryzma před endovaskulárním ošetřením



Obrázek 5a. Pacient: 75 let s uzávěrem ACI vlevo a hemodynamicky významnou stenózou v odstupu levé ACI. DSA uzávěr pravé a. carot. int



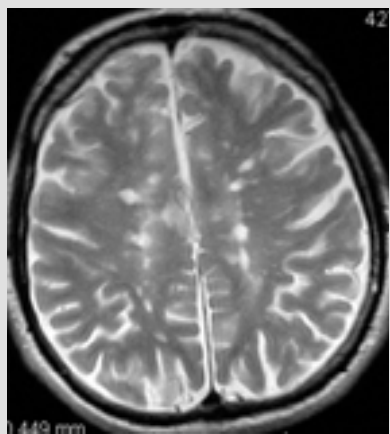
Obrázek 5d. CT obraz ischemických změn na rozhraní povodí a. cer. ant. a a. cer. med. vlevo



myelografií s intratekální aplikací kontrastní látky.

Diagnostický přínos jednotlivých metod je samozřejmě odlišný a jejich využitelnost se mění i podle toho, na jaké patologické postižení se zaměřujeme. Prosté rtg snímky jsou vyhrazeny převážně pro diagnostiku degenerativního postižení páteře a dále pro

Obrázek 6a. Pacient: 56 let se SM a senzitivní i motorickou symptomatologií akrálně na PHK, vyšším tonem na DKK a zřetelnými iritačními jevy oboustranně. MR prokazuje demyelinizační plaky orientované typicky delší osou kolmo k povrchu komor. Léze bílé hmoty jsou patrné i v krční míše – zvl. vpravo v okolí předního rohu míšního ve výši C2. MR – T2 vážený obraz – příčný řez



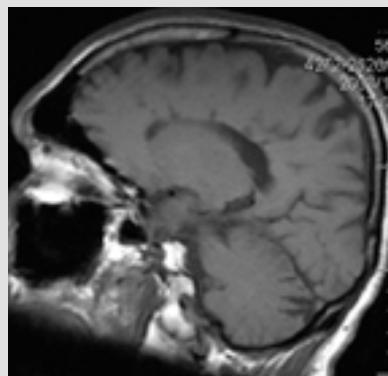
Obrázek 7a. Pacientka: 9 let s vrozeným hydrocefalem, cystou na spodině střední jámy lební a recidivujícím subdurálním hematomu. Stav po shuntu a drenáži cysty. MR – FLAIR – příčný řez



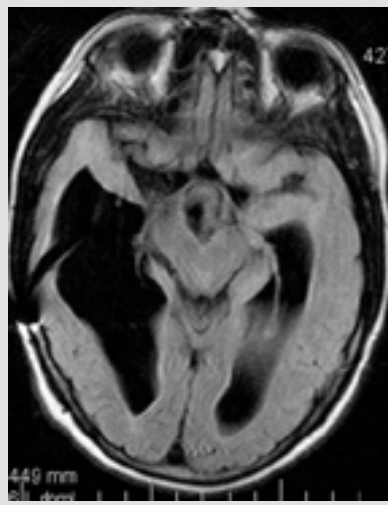
posouzení traumatického poškození skeletu, případně některých vývojových abnormalit a při dlouhodobém poškození s důsledkem deformací pohybového aparátu stejně jako poškození funkčního charakteru.

Volba CT vyšetřování je soustředěna na pacienty akutní, jehož hlavní úlohou je průkaz mozkových zvl. hemisferálních lézí nebo spojených s intrakraniálním krvácením, tedy jde-li o vyšetření traumatických lézí nebo první zmapování rozsahu poškození CNS jako příčinu poškození funkce hlavně u pacientů vyššího věku, které jsou důsledkem mozkové ischemie, intrakraniálního krvácení nebo jiného expanzivního procesu. Pro zobrazení některého typu intrakraniálního krvácení a to jak intracerebrálního, tak i v lokalizaci subarachnoidální, subdurální či epidurální, je CT v akutní fázi

Obrázek 6b. MR – T1 vážený obraz nativ – sagitální řez



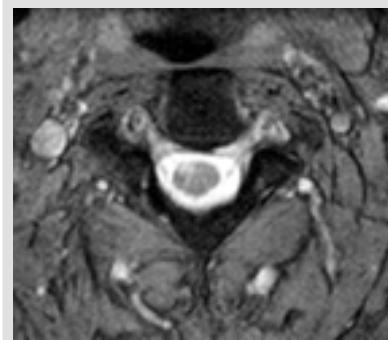
Obrázek 7b. MR – FLAIR – příčný řez



jasně definovaným obrazem hyperdenzní krve bezkonkurenční a předčí i přínos MR, kde je obraz krvácení v čase naopak velmi proměnlivý, vzhledem k tomu, že jednotlivé degradační produkty hemoglobinu mají v magnetickém poli zcela odlišné vlastnosti a není snadné se v těchto obrazech orientovat.

Pro klinický stav pacienta je dostatečný ve většině případů diagnostický přínos CT i v případě průkazu mozkových tumorů jako první záchyt, či typických příčin dětské mozkové obrny, jako je hydrocefalus, porencefalie apod. Další výhodou dnes již velmi rozšířených „spirálních“ CT nebo MDCT je možnost okamžitého provedení CT angiografie hlavně v případě subarachnoidálního krvácení či atypicky uloženého intracerebrálního hematomu k průkazu aneurysmatu či jiné cévní malformace nebo jiného zdroje krvácení, tak i u časných ischemií k průkazu uzávěru mozkových tepen. Naopak limity této metody se projevují u diskrétního traumatického poškození, jako je transversální axonální léze a nebo u demyelinizačního poškození bílé hmoty sclerosis multiplex, která je také jednou z relativně častých příčin motorického poškození a CT obraz u ní může být poměrně dlouho zcela negativní.

Obrázek 6c. MR – T2 vážený obraz – příčný řez krční míchou

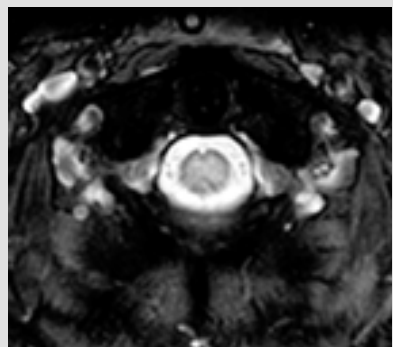


Obrázek 8a. Pacientka: 51 let s náhle vzniklou spastickou quadraparézou a rozvíjející se dechovou insuficiencí. Akutně provedené MR prokazuje mírné vřetenovité rozšíření krční míchy a rozsáhlou hyperintenzitou v ní v rozsahu C1-C5, která zasahuje i intrakraniálně – postihuje celou prodlouženou míchu až po dolní okraj pontu. Nález je podmíněn v. s. ischemií. MR – T1 vážený obraz nativ – sagitální řez



Ve srovnání s CT je totiž MR vyšetření schopno detekovat změny v bílé hmotě v podstatně časnějším stadiu, protože dochází ke ztrátě myelinu – tedy tukové látky a vzestupu obsahu vody, což při diametrálně odlišných relaxačních časech tuku a vody, vede i při malých změnách jejich poměru ve tkáni ke zřetelné změně intenzity signálu z ní. MR je tedy citlivější v případně průkazu edému a to jak vazogenního, tak cytotoxického a to umožňuje časnější průkaz i ischemického poškození,

Obrázek 8b. MR – T2 vážený obraz – příčný řez krční míchou



Obrázek 10a. Pacient: 63 let s náhle vzniklou quadruplegií po pádu z výšky. Akutně provedené MR prokazuje objemnou v. s. traumatickou hernii disku C5-6 s kompresí nejen vaku plen, ale i vlastní míchy – signál z ní je zřetelně zvýšen. MR – T2 vážený obraz nativ – sagitální řez krční míchou



kteří v případně difúzně vážených obrazech můžeme na MR detekovat již několik minut po vzniku. Na difúzně vážených MR obrazech je signál z tkáně silně ovlivněn difúzí spinů, která je relativně volná v extracelulárním prostoru a omezena rozměrem buňky v intracelulárním prostoru. Při nedostatečném prokrvení mozkové tkáně začne prakticky ihned docházet k navázání původně volných molekul extracelulárního prostoru na buňky (k cytotoxickému edému) a k poklesu difuze molekul a tento stav přetrvává nejméně 96 hodin. Aplikaci kontrastní látky již vyžaduje další metoda vhodná k průkazu ischemií ohrožené tkáně a to je mo-

Obrázek 9a. Pacientka: 53 let se syringomyelickou dissociací čítí a smíšenou parézou PHK s maximem akrálně a pozvolným zhoršováním motoriky LHK. Zjištěna Arnold-Chiariho malformace s hydrosyringomyelií postihující krční i hrudní míchu. MR – T1 vážený obraz nativ – sagitální řez krční míchou



ková perfuze, která využívá změny signálu či denzity tkáně během prvního oběhu kontrastní látky cévním řečištěm. V případě MR perfuze je využit efekt susceptibilitu podané k. l., který vyvolá nehomogenitu pole vedoucí k redukci měřeného signálu v dobře prokrvené oblasti na rozdíl od oblastí zásobených málo, které se tak stávají hyperintenzí, jednoduše řečeno postižená tkáň se liší křivkami zachyceného průchodu k. l. v čase od tkáně zdravé.

Přednosti MR se nejlépe zúročí při průkazu kmenových lézí vedoucích ke spasticitě, protože oblast zadní jámy je v případě CT zatížena značnými artefakty způsobenými tloušťkou okolní kosti zvláště pyramid. Vysoké rozlišení spolu s podstatně lepším kontrastem MR obrazu a zmíněnou vyšší citlivostí ke změnám v bílé hmotě umožňuje na MR spolehlivý průkaz lézí, jako je kmenová ischemie, tumory kmene či např. centrální pontinní myelinolýza. Zvláště gradient echo – GE sekvence, které jsou extrémně citlivé na efek susceptibilitu způsobený hemosiderinem, se využívají k detekci i malých kavernomů.

Ještě výhodnější je postavení MR v případě diagnostiky míšních lézí vedoucích k postižení motorických drah, jako je např. míšní kontuze, transverzální míšní léze, kompresivní myelopatie, sclerosis multiplex i míšní tumory či ischemie. Co se týče obsahu páteřního

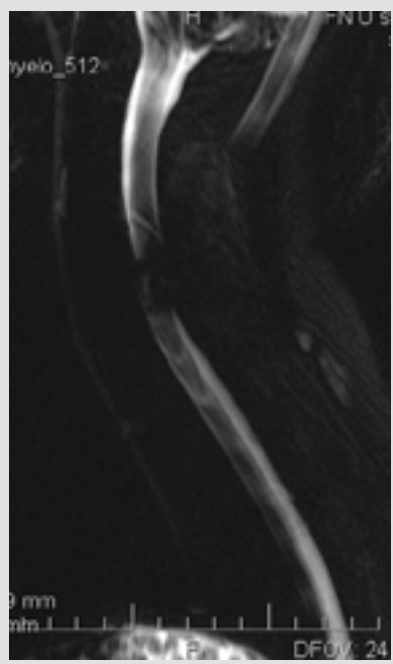
Obrázek 9b. MR – T2 vážený obraz – sagitální řez hrudní míchou



kanálu je rozlišovací schopnost CT nedostatečná, kontrast mezi likvorem v durálním vaku a míchou je poměrně malý a ke struktuře vlastní míchy se na CT nelze přesněji vyjádřit. Další podstatnou výhodou MR je možnost zhotovení podélných sagitálních řezů, které umožňují vyšetření páteře ve značném rozsahu. Na rozdíl od CT se na MR prakticky nezobrazuje pevná kortikální kost s malým obsahem vody, ale naopak je MR velmi vhodné k diagnostice i disktrétních změn kostní dřevě. Na druhou stranu však nelze opomenout, že spektrum indikací k MR vyšetření se zužuje o pacienty, jejichž tělo obsahuje arteficiální kovové magnetické předměty (kardiostimulátory, osteosyntetický materiál, kloubní endoprotézy, chirurgické cévní svorky, cévní stenty apod.), moderní kovové implantáty jsou však dnes MR kompatibilní, nutno však vždy k žádance doložit záruku takovéto kompatibility nejlépe od firmy, která implantát vyrábí.

DSA je již v diagnostických indikacích mnohdy nahrazena MR či CT angiografií a její pozice „zlatého standardu“ pro zobrazení cév je na našem pracovišti výrazně ořezána rutinním používáním MR angiografie krčního průběhu magistralních tepen s aplikací k. l. i. v. nebo CT AG pro detekci intrakraniálního zdroje SAK s následnou možností 3D rekonstrukcí. DSA

Obrázek 10b. MR myelografie



je nejméně artifiálně ovlivnitelná a poskytuje nejpřesnější zobrazení a umožňuje tak i detailní hodnocení i periferních cév – např. u vaskulitid, zvláště, je-li doplněna o rotační angiografii s možností 3D rekonstrukcí. Rovněž poskytuje dynamickou představu o průchodu kontrastní látky endovaskulárními prostory a tkání. Na druhou stranu samozřejmě představuje metodu, která pacienta nejvíce zatěžuje, protože vyžaduje cílenou katetrizaci mozkových tepen. Oproti tomu, při CT angiografii aplikujeme bolus kontrastní látky pouze intravenózně a při provedení MR angiografie není v případě zobrazení mozkových cév aplikace kontrastní látky nutná vůbec – cévy se zobrazí pouze na podkladě odlišného chování statické tkáně a proudící krve. Cévní struktury vždy hodnotíme jak na projekčních rekonstrukcích, tak i na subvrstvách a kombinace s běžnými MR tomogramy nám přináší možnost současného hodnocení změn na cévách i jejich odezvy v mozkové tkáni. Jedním ze specifických problémů nativně provedené MRA je však tendence k nadhodnocení míry i rozsahu zúžení tepen, s ubývajícím spolehlivostí hodnocení periferně od významných stenóz.

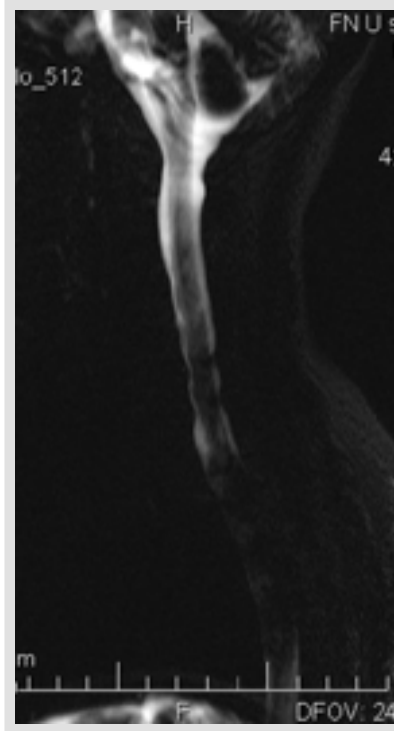
DSA je nezastupitelná při provádění intervenčních výkonů na cévách hlavy a krku – jako je např. angioplastika stenóz event. i s implantací stentů, endovaskulární ošetření aneurysmat pomocí spirál či embolizace AV malformací nebo zavedení mikroinstrumentária při cílené trombolýze nebo cílené mechanické extrakci trombu.

Další metodou, po zavedení MR dnes omezeně aplikovanou, používanou k diagnostice lézí páteřního kanálu je myelografie – kontrastní látka se aplikuje do durálního

Obrázek 11a. Pacientka: 52 let s postupně se rozvíjející neobratností DKK a poruchou chůze. MR vyšetření prokazuje objemnou v. s. tumorózní, intramedulární expanzi hrudní míchy v rozsahu Th 1–5. MR – T2 vážený obraz nativ – sagitální řez krční míchy



Obrázek 11b. MR – rozšíření míchy podmíněné intramedulární lokalizací expanze je patrné i na MR myelografii



vaku buď lumbální punkcí, nebo při vyšetření kranální poloviny páteře laterocervikálním přístupem – do zadního subarachnoidálního prostoru ve výši C1-2. Umožňuje posoudit stupeň komprese vaku plen či odstupujících kořenových pochev, dále odlišení extradurální a intradurální lokalizaci lézí a v případě intradurálních většinou i oddiferencovat léze intra- a extramedulární. Diagnostická výtečnost této metody se dále zvyšuje při následném doplnění CT myelografie. V případě dostupnosti MR vyšetření může MR myelografie klasickou myelografií do značné míry nahradit a to bez nutnosti aplikace kontrastní látky – tedy zcela neinvazivně – pouze zvolením speciálních, silně T2 vážených sekvencí, na kterých okolní tkáň již prakticky zcela ztrácí signál a hypersignální zůstávají pouze útvary vyplněné tekutinou, tedy i durální vak a kořenové pochvy.

Z nejnovějších speciálních metod je nezbytné zmínit zobrazování funkční aktivity mozku na MR, které využívá faktu, že v aktivované oblasti mozku dochází v důsledku tzv. BOLD (blood oxygenation level dependend) efektu ke změně klidového poměru mezi oxy-

hemoglobinem a deoxyhemoglobinem, které mají odlišné magnetické vlastnosti, vedoucí k odlišné intenzitě signálu z oblasti aktivovaných a neaktivovaných. Protože se jedná o odchylky velmi malé, musí být změny signálu dále vyhodnoceny různými statistickými metodami. Motorická stimulace, stejně jako jiná stimulační paradigmat, vyvolává relativně velké změny signálu v aktivních zónách a výsledky jsou tak poměrně dobře hodnotitelné a reprodukovatelné. Podle výsledků pak lze např. korigovat rozsah chirurgického výkonu při lézích v oblastech motorického kortexu.

MR spektroskopie vodíku, ale i jiných jader, nabízí velkou naději na určování důležitých metabolitů v mozkové tkáni, které může pomoci v diagnostice postižení mozku, ale i ve sledování průběhu terapie.

Lze tedy shrnout, že současná úroveň zobrazovacích metod má velký význam pro diagnostiku v neurologii, především pro příčinou různorodost tohoto souboru onemocnění na jedné straně a pro široké spektrum rozmanitých vyšetřovacích možností umožňujících analýzu mnohých příčin a průběhu onemocnění v čase na straně druhé.

Literatura

1. Forsting M. Intracranial vascular malformations and aneurysms. Springer, Berlin-New York, 2004.
2. Lorensen W, Cline H. Marching cubes, A high resolution 3D surface construction algorithm: Proceedings, Siggraph 87, USA, 1987: 163–169.
3. Osborn Anne G. Diagnostic neuroradiology, Mosby, 1994.
4. Scott W. Atlas, Magnetic resonance imaging of the brain and spine. Lippincott – Raven, 1996.