Zobrazovací metody v diagnostice hydrocefalu

MUDr. Miloš Keřkovský, Ph.D.¹, MUDr. Ivana Červinková², MUDr. Barbora Jurová¹,

MUDr. Václav Vybíhal, Ph.D.³, doc. MUDr. Marek Mechl, Ph.D., MBA¹

¹Radiologická klinika, Fakultní nemocnice Brno a Lékařská fakulta MU, Brno

²Klinika dětské radiologie, Fakultní nemocnice Brno a Lékařská fakulta MU, Brno

³Neurochirurgická klinika, Fakultní nemocnice Brno a Lékařská fakulta MU, Brno

Zobrazovací metody jsou nedílnou součástí diagnostiky u pacientů s hydrocefalem. Klíčovou zobrazovací modalitou je v této oblasti magnetická rezonance (MR), jejíž nejdůležitější úlohou je detekce či objasnění příčiny případné obstrukce komorového systému. Dalšími metodami, které lze použít pro diagnostiku hydrocefalu, jsou výpočetní tomografie a ultrasonografie v případě zobrazení mozku plodů a novorozenců. V této přehledové práci jsou diskutovány specifika, výhody a limitace těchto jednotlivých technik zobrazení a jejich pozice v diagnostickém algoritmu.

Klíčová slova: hydrocefalus, magnetická rezonance, výpočetní tomografie, ultrasonografie.

Diagnostic imaging in hydrocephalus

Diagnostic imaging methods play a key role among the diagnostic procedures in patients with hydrocephalus. The most important imaging modality here is the magnetic resonance imaging, which is able to detect and specify possible source of the obstruction within the ventricular system of the brain. Other methods, which can be used in the diagnostics of hydrocephalus, are computed tomography and ultrasonography for the imaging of the brain in fetuses and newborns. In this paper we discuss the features and limitations of the aforementioned imaging techniques and describe their position in the diagnostic algorithm.

Key words: hydrocephalus, magnetic resonance imaging, computed tomography, ultrasonography.

Úvod

Hydrocefalus je onemocnění charakterizované nerovnováhou tvorby a resorpce nebo poruchou cirkulace mozkomíšního moku (likvoru) v jednotlivých intrakraniálních oddílech. V důsledku toho dochází k dilataci mozkových komor (ventrikulomegalii) a většinou i ke zvýšení nitrolebního tlaku. Etiologicky je hydrocefalus značně heterogenní jednotkou. Z hlediska příčiny rozlišujeme dva základní typy – hydrocefalus nekomunikující (obstrukční) a komunikující. Vzájemné odlišení těchto dvou typů je zásadní pro následné zvolení adekvátního léčebného postupu.

O nekomunikujícím hydrocefalu hovoříme v případě, kdy dojde k obstrukci v určité úrovni komorového systému, takže dojde k hromadění likvoru tvořeného v choroidálních plexech nad

touto překážkou a k následné dilataci příslušných mozkových komor. Příčinou této obstrukce mohou být například krevní koagula, cysty, středočárové nádory nebo stenózy v určitých, z hlediska cirkulace likvoru kritických, oblastech, jako je například Sylvioův mokovod.

Příčinou komunikujícího hydrocefalu, někdy také označovaného jako extraventrikulární obstrukční hydrocefalus, je nejčastěji hyporesorpce likvoru při obstrukci arachnoidálních granulací například krvácením, zánětem či tumorózní infiltrací. Příčinou je tedy v zásadě též obstrukce, která je však lokalizovaná mimo komorový systém. Poměrně vzácnou příčinou nerovnováhy likvorové dynamiky je zvýšená tvorba mozkomíšního moku u pacientů s tumorem choroidálního plexu. Důsledkem těchto změn je povšechná dilatace

komorového systému mozku a zvýšení intrakraniálního tlaku. Specifickým typem komunikujícího hydrocefalu je tzv. normotenzní hydrocefalus, kde dochází k dilataci komorového systému při normálním tlaku mozkomíšního moku.

Zobrazovací metody hrají v diagnostice hydrocefalu klíčovou roli. Jejich úkolem je zejména vlastní detekce dilatace komorového systému, pro volbu optimální léčby je zásadní identifikace případné strukturální překážky cirkulace likvoru. Stejnými zobrazovacími modalitami, které lze využít pro diagnostiku hydrocefalu, jsou výpočetní tomografie (CT), magnetická rezonance (MR) a ultrasonografie (US) pro vyšetření u plodů a novorozenců. Všechny tyto metody mají svá specifika, výhody i limitace, které budou podrobněji diskutovány v dalších oddílech.

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

MUDr. Miloš Keřkovský, Ph.D., Kerkovsky.Milos@fnbrno.cz

Radiologická klinika Fakultní nemocnice Brno, Jihlavská 20, 625 00 Brno

Cit. zkr: Neurol. praxi 2016; 17(4): 213–217

Článek přijat redakcí: 28. 3. 2016

Článek přijat k publikaci: 30. 5. 2016

Obr. 1. US a MR vyšetření u 10měsíčního chlapce s tumorem pineální oblasti (pineální parenchymatózní nádor, grade III) s obstrukčním hydrocefalem. a – US vyšetření v koronální rovině zobrazuje dilatované postranní komory a část III. komory (šipka), zachycen je též rostrální okraj tumoru v podobě hyperechogenního ložiska (krátké šipky). b – postkontrastní T1 vážené MR zobrazení lépe zobrazuje vlastní tumor (krátké šipky) se solidní a cystickou složkou. Expanze působí obstrukci Sylviova mokovodu (šipka), která je příčinou hydrocefalu

Obr. 2. Zobrazovací vyšetření u pacienta s normotenzním hydrocefalem. a – CT zachycující dilatované mozkové komory, nápadná je zejména dilatace čelních rohů postranních komor se zaobleným tvarem. Hodnota měřeného Evansova indexu je vysoce nadhraniční (0,55). MR vyšetření (b–d) neproказuje obstrukci. b – silně T2 vážená sekvence 3D DRIVE ve vysokém rozlišení zobrazuje středočárové struktury v sag. rovině. Bílá šipka označuje průchodný Sylviov mokovod s artefaktem proudění likvoru, červená šipka typické kaudální vyklenutí spodiny III. komory. c – T2 zobrazení v axiální rovině. d – zobrazení proudění likvoru pomocí techniky PCA; šipka označuje intenzity odpovídající mohutnému proudění likvoru v aqueduktu vylučující jeho obstrukci. Zbylé hyperintenzní oblasti odpovídají proudění v cévách

Ultrasonografie

US je diagnostická modalita využívající pro zobrazení odrazů ultrazvukových vln od struktur

vyšetřovaných tkání. Její výhodou je jednoduchost a rychlost provedení, neinvazivita a absence jakýchkoliv škodlivých vlivů na organizmus vyšetřovaného.

Vyšetření mozku je standardně prováděno již prenatálně. Detailní zhodnocení mozku a páteřního kanálu je nedílnou součástí screeningového vyšetření ve II. trimestru těhotenství. Vyšetření plodu provádíme transabdomálně pomocí konvexní sondy s frekvencí od 3,5 do 5 MHz, nitrolební struktury zobrazujeme především v modifikované axiální projekci. Nejjednodušší způsob posouzení velikosti postranních komor spočívá v ověření skutečnosti, že jsou jejich atria kompletně vyplněna hyperechogenními chorioidálními plexy. Pokud kromě chorioidálního plexu zachytíme v atriu i anechogenní vrstvu likvoru, je třeba šířku ověřit měřením. Normální šířka atria zůstává v průběhu vývoje mozku ve druhém a třetím trimestru v podstatě stabilní, příčný rozměr se většinou pohybuje mezi 6–7 mm, horním limitem je hodnota 10 mm (Černoch, 2000). Kongenitální hydrocefalus s výskytem 0,3–1,5 na 1 000 novorozenců patří mezi nejčastěji diagnostikované vývojové poruchy centrálního nervového systému. K nejčastějším příčinám kongenitálního hydrocefalu patří stenóza mokovodu, syndrom Dandy–Walker, Chiariho malformace atd. (Hadač, 2000). Po narození lze vyšetřit pomocí US mozek přes velkou fontanelu (obrázek 1). K tomuto zobrazení se nejlépe hodí sektorová sonda s frekvencí 5 až 12 MHz, zejména pro hodnocení struktur bezprostředně pod fontanelou však využíváme i lineární sondu s frekvencí 7,5–12 MHz (Černoch, 2000). Zobrazení touto cestou je nejlépe proveditelné v prvních šesti měsících života, u některých jedinců lze vyšetřovat až do 15–18 měsíců věku (Hadač, 2000). Při tomto vyšetření měříme šířku postranních komor ve standardní koronární rovině vedené třetí komorou za úrovní Monroových otvorů; normální šířka nepřesahuje 4–5 mm. Kromě zhodnocení šířky a konfigurace komor usnadňuje diagnózu nitrolební hypertenze při hydrocefalu též spektrální doplerovský záznam toku v přední mozkové tepně. Normální hodnota indexu rezistence (RI) je 0,7 a jeho vzestup odráží zvýšení nitrolebního tlaku. Přesnost diagnózy zvyšuje také tlakový provokační test, kdy u přítomné nitrolební hypertenze při odměřené kompresi velké fontanely ultrazvukovou sondou pozorujeme nárůst RI (Černoch, 2000). Pomocí US lze též posoudit polohu ventrikuloperitoneálního (VP) shuntu intrakraniálně a případně též zobrazit průběh shuntu v dutině břišní.

Obr. 3. CT a MR zobrazení u pacientky s mnohočetnými metastázami karcinomu prsu s obstrukčním hydrocefalem. a, d – CT vyšetření prokazuje rozšíření komor s drobnými lemy prosaku likvoru periventrikulárně (šipky na obrázku a) a nápadně gracilní IV. komoru mozkovou (šipka na obrázku d). b – odpovídající korelát v T2 váženém obraze MR v axiální rovině. c, e – postkontrastní syčení mnohočetných metastatických ložisek mozečku v T1 váženém obraze v sagitální (c) a axiální (e) rovině. f – sekvence 3D DRIVE v sag. rovině umožňuje lépe zobrazit obstrukci mokovodu (bílá šipka) a vyklenutí spodiny III. komory (červená šipka) v rámci obrazu hydrocefalu

Výpočetní tomografie

CT je zobrazovací metoda založená na počítačové rekonstrukci axiálních obrazů vyšetřovaného objektu z hodnot útlumu, ke kterému dojde při průchodu rentgenových paprsků vyšetřovaným objektem. Pro tuto rekonstrukci je nutné velké množství měření z mnoha různých úhlů, což zajišťuje rotace rentgenky a detektorů v současných CT přístrojích.

Hlavním cílem CT vyšetření je detekce dilatace komorového systému. Samotné měření šíře různých částí komorového systému má poměrně omezenou výpovědní hodnotu vzhledem k poměrně vysoké variabilitě a závislosti šíře komor na věku v souvislosti s fyziologickým úbytkem mozkové tkáně (Ragan et al., 2009). Například maximum normální šíře III. komory mozkové je udávána u dětí 5 mm, u dospělých pod 60 let věku 7 mm a nad 60 let 9 mm (Möller et Reif, 2000). Kromě měření absolutních hodnot šíře komor je pro kvantifikaci dilatace komor možné použít různých relativních parametrů. Jako příklad lze uvést Evansův index vyjadřující dilataci čelních rohů postranních komor vůči šíři lebky (obrázek 2), který lze s výhodou využít například pro kvantifikaci dilatace mozkových komor u pacientů s normotenzním hydrocefalem ($>0,3$) (Relkin et al., 2005).

Odlišení prosté ventrikulomegalie v rámci mozkové atrofie od hydrocefalu může být v některých případech poměrně nesnadné. V této oblasti může pomoci hodnocení proporcionality šíře komorového systému vůči zevním likvorovým prostorům, kdy v případě hydrocefalu dochází k zúžení sulků a cisteren na rozdíl od atrofie, kde jsou zevní arachnoidální prostory spíše rozšířené (Černoch, 2000). Mezi další známky svědčící pro hydrocefalus patří například predilekční rozšíření temporálních rohů postranních komor (>3 mm) nebo zaoblení čelních rohů postranních komor (Dähnert, 2003). U dekompenzovaného hydrocefalu zejména obstrukčního typu jsou v CT obraze cennou známkou periventrikulárně uložené hypodenzní zóny odpovídající intersticiálnímu edému v důsledku transependymálního prostupu likvoru (obrázek 3), ke kterému dochází při zvýšení nitrokomorového tlaku (Ho et al., 2012). V případě obstrukčního hydrocefalu lze z CT vyšetření dle dilatace jednotlivých mozkových komor usuzovat na úroveň blokády likvorových cest, nicméně například odlišení komunikujícího hydrocefalu od obstrukce v úrovni Sylviova mokovodu může být obtížné vzhledem k nižší dilatační schopnosti IV. komory. U části pacientů s komunikujícím hydrocefalem tak může být prakticky normální šíře IV. komory imponující jako obraz obstrukce mokovodu (Osborn et al., 2009).

Obecně lze říci, že CT vyšetření nelze považovat za definitivní metodu k vyloučení komorové obstrukce. Nedostatečné je zejména zobrazení jemných membrán coby relativně časté příčiny stenózy Sylviova mokovodu, jejichž detekce je doménou MR. Uniknout pozornosti mohou například též koloidní cysty III. komory, pokud postrádají typicky vysokou denzitu, s čímž se setkáváme asi ve třetině případů (Urso et al., 1998). CT je tak obvykle využíváno jako rychlé vstupní vyšetření pro stanovení diagnózy hydrocefalu; pro podrobnější zhodnocení a rozhodnutí o typu léčby je však nezbytné vyšetření MR, které je ostatně vhodnější i jako metoda první volby, pokud je dostupné.

V neposlední řadě běžně využíváme CT zobrazení jako kontrolní vyšetření po terapeutických výkonech, jako je nejčastěji implantace VP shuntu. CT v tomto případě spolehlivě vyloučí intrakraniální hemoragii coby případnou komplikaci výkonu, umožní posoudit polohu konce shuntu v komorovém systému a při následných kontrolách umožní zhodnotit vývoj šíře komorového systému.

Pro úplnost lze závěrem tohoto oddílu zmínit nejjednodušší metodu využívající rentgenové záření a to prosté snímky průběhu shuntu. Cílem tohoto vyšetření je detekce zalomení či malpozice shuntu coby mechanické příčiny selhání jeho funkce.

Magnetická rezonance

MR je neinvazivní zobrazovací technika, která pro zobrazení využívá elektromagnetické signály emitované jádry vodíku umístěnými do silného magnetického pole za působení specifických elektromagnetických impulzů. Výhodou této modality je kromě absence radiační zátěže pacientů zejména excelentní kontrastní i prostorové rozlišení výsledného obrazu. Určitou nevýhodou oproti CT je délka trvání vyšetření (v průměru asi 20–30 min.) a s tím související vyšší nároky na spolupráci pacientů, kdy v porovnání s CT ve větší míře hrozí pohybové artefakty. Dále je třeba zmínit specifické kontraindikace MR vyšetření, jako je např. přítomnost MR nekompatibilního kardiostimulátoru.

U pacientů s hydrocefalem MR nabízí oproti CT nové možnosti, které významně přispívají ke zpřesnění diagnostiky. Jako stěžejní zde je třeba zmínit zobrazení v sagitální rovině, ideálně s použitím silně T2 vážených sekvencí s vysokým prostorovým rozlišením. Tyto sekvence umožňují

Obr. 4. Pacient chirurgicky léčený pro stenózu Sylviova mokovodu. a, b – MR zobrazení v sagitální rovině sekvencí 3D DRIVE. a – vstupní vyšetření zobrazuje dilatovaný mokovod v dorzokaudální části přepažený jemnou membránou, která je příčinou jeho obstrukce (šipka). b – kontrolní vyšetření po provedené endoskopické ventrikulocisternostomii prokazuje regresi dilatace mokovodu i III. komory. c, d – grafické vyjádření toků likvoru měřených pomocí techniky fázového kontrastu (PC). c – předoperační měření v oblasti Sylviova mokovodu prokazuje hrubě abnormální křivku toků s nízkými max. průtoky (0,095 ml/s), což podporuje diagnózu obstrukce. d – pooperační měření toků likvoru stomií v oblasti spodiny III. komory mozkové s příznivým obrazem normální křivky pulzatilních toků v průběhu srdečního cyklu s max. průtokem 0,28 ml/s. Přerušované čáry na panelech a a b označují roviny měření sekvence PC

ní podrobnější zhodnocení středočárových struktur a lepší identifikaci některých typických atributů hydrocefalu, jako je například vyklenování recessů III. komory mozkové se zmenšením pontomamillární vzdálenosti (<10 mm) nebo ztenčení a kraniální vyklenování kalózního tělesa (Neuwirth, 1998) (obrázek 2). Zmiňované sekvence s vysokým rozlišením umožní detekovat stenózu Sylviova mokovodu (obrázek 4), což je klíčová informace pro indikaci operační ventrikulocisternomie spodiny III. komory. Při nálezu mozkového tumoru coby příčiny komorové obstrukce je nespornou výhodou vysoký měkkotkáňový kontrast, který umožní přesnější diferenciálně diagnostickou rozvahu v porovnání s CT či přehlednější zhodnocení rozsahu nádoru ve všech základních rovinách zobrazení (obrázek 3). Sekvence s potlačením signálu tekutiny (fluid attenuation inversion recovery, FLAIR) jsou zase cenným nástrojem pro citlivou detekci periventrikulárního intersticiálního edému při transependymálním prostupu likvoru.

V oblasti diagnostiky hydrocefalu lze využít i některých „pokročilých“ technik MR zobrazení, které vyžadují určitou míru výpočetní analýzy obrazových dat. Jednou z nich je technika fázového kontrastu (phase contrast, PC), která je citlivá k proudění tekutiny a umožňuje tak zobrazit a kvantifikovat proudění mozkomíšního moku. Toto vyšetření nejčastěji zaměřujeme na detekci pulzatilních toků likvoru v Sylviově mokovodu. V případě obstrukce mokovodu zde lze obvykle pozorovat vymizení artefaktu proudění likvoru již na konvenčních sekvencích, což však nelze považovat za zcela specifickou známku pro tento patologický stav (Algin et al., 2010). Technika PC umožní detailněji kvantifikovat a zobrazit časový průběh toků likvoru mokovodem v průběhu srdečního cyklu. Takto detekovaná alterace proudění likvoru může podpořit diagnózu stenózy mokovodu v kontextu hodnocení základních strukturálních obrazů (Algin et al., 2010; Stoquart-El Sankari et al., 2009). Někteří autoři zmiňují též využití PC pro monitoraci pacientů

po endoskopické ventrikulocisternostomii, kde vysoké hodnoty průtoků likvoru stomií mohou predikovat příznivý výsledek této zkratové operace (Bargalló et al., 2005) (obrázek 4).

V neposlední řadě se může technika PC MR uplatnit v diagnostice idiopatického normotenzního hydrocefalu (idiopathic normal pressure hydrocephalus, iNPH). Diagnostika tohoto onemocnění je kromě hodnocení klinického obrazu a výsledků likvordynamických testů založena především na detekci dilatace komorového systému pomocí zobrazovacích metod, která je disproporční vůči zúženým subarachnoidálním prostorům v oblasti vertexu, společně s vyloučením komorové obstrukce. Někteří autoři poukazují na další atributy MR zobrazení charakteristické pro iNPH, jakými jsou například rozšíření likvorových prostor Sylviových rýh a izolovaná dilatace několika sulků na konvexitě či na mediální ploše mozkových hemisfér (Kitagaki et al., 1998), dále zmenšení úhlu kalózního tělesa měřeného v koronární rovině (Ishii et al., 2008). Je však třeba zmínit, že s MR nálezem vykazujícím rysy charakteristické pro iNPH je možné se setkat i u asymptomatických jedinců. Iseki et al. udávají četnost izolovaného nálezů ventrikulomegalie (Evansův index >0,3) v 51 případech (6,46%) ze zkoumané populace 790 subjektů, u 8 z nich (1,01%) šlo o asymptomatické jedince s MR nálezem odpovídajícím iNPH v podobě ventrikulomegalie a zúžení likvorových prostor na konvexitách (Iseki et al., 2009).

V současnosti jsou předmětem výzkumu nové techniky, které by diagnostiku iNPH zpřesnily a umožnily lépe identifikovat pacienty, kteří budou profitovat z implantace VP shuntu. Studie využívající PC poukazují na zvýšení průtoku likvoru Sylviovým mokovodem u pacientů s normotenzním hydrocefalem, po implantaci VP shuntu tyto toky významně klesají (Abbey et al., 2009). Z těchto skutečností lze usuzovat, že zvýšení průtoku likvoru v Sylviově mokovodu je významnou součástí patofyziologických procesů v rámci rozvoje iNPH. Praktické využití této techniky je však prozatím otázkou výzkumu a výsledky ani metodika aplikace této techniky nejsou jednotné. Kahlon et al. ve své práci zpochybňují význam předoperačního měření průtoků likvoru mokovodem pro predikci příznivého výsledku implantace VP shuntu (Kahlon et al., 2007). Na druhou stranu autoři Sharma et al. prezentovali dobré výsledky implantace VP shuntu u pacientů s NPH, pokud byl mezi

indikační kritéria operačního řešení zařazen pokles maximální rychlosti měřených toků likvoru mokovodem, ke kterému došlo po provedení tap testu (Sharma et al., 2008).

Mezi další nadějně techniky uplatňující se u pacientů s iNPH patří zobrazení tenzorů difuze (diffusion tensor imaging, DTI). Tato metoda je založena na zobrazení difuzivity molekul vody, která je závislá na struktuře zkoumaných tkání. Parametry difuzivity je možné kvantifikovat pomocí různých skalárních parametrů, jako je například střední difuzivita, která odráží celkovou míru difuzivity ve zvoleném objemu tkáně, nebo parametr frakční anizotropie (FA), který reflektuje směrovou závislost difuzivity. Bylo zjištěno, že u nejruznějších onemocnění centrálního nervového systému dochází k vý-

znamným změnám těchto parametrů, jejichž kvantifikace tak otevírá nové možnosti pro detekci strukturálních změn mozkové tkáně (Keřkovský et al., 2010). V případě iNPH bylo zjištěno významné zvýšení hodnot FA v oblasti zadního raménka capsula interna resp. kortikospinální dráhy patrně jako následek komprese těchto anatomických struktur (Hattingen et al., 2010), další autoři v této souvislosti poukazují na možnost využití analýzy DTI dat pro odlišení iNPH od různých neurodegenerativních onemocnění (Hattori et al., 2011). Parametry difuzivity by tak mohly představovat cenný biomarker u pacientů s iNPH, nicméně praktický význam této metody pro selekci pacientů vhodných pro implantaci VP shuntu je teprve třeba stanovit.

Závěr

Zobrazovací metody hrají klíčovou roli v diagnostickém algoritmu u pacientů s hydrocefalem. Lze od nich očekávat zejména detekci vlastní dilatace komorového systému a klasifikace typu hydrocefalu v závislosti na zobrazení případné příčiny obstrukce cirkulace likvoru v komorovém systému mozku. Hlavní slovo v oblasti zobrazení mozku u pacientů s hydrocefalem má v dnešní době MR, která nabízí podstatně lepší možnosti zobrazení než CT. Některé novější techniky MR, které poskytují bližší náhled do patofyziologie hydrocefalu a umožňují podrobnější zhodnocení strukturálních změn mozkové tkáně, jsou v současnosti předmětem výzkumu a mají potenciál stát se novým diagnostickým nástrojem využitelným pro volbu optimální léčby.

LITERATURA

- Abbey P, Singh P, Khandelwal N, Mukherjee KK. Shunt surgery effects on cerebrospinal fluid flow across the aqueduct of Sylvius in patients with communicating hydrocephalus. *J Clin Neurosci* 2009; 16: 514–518.
- Algin O, Hakyemez B, Parlak M. Phase-contrast MRI and 3D-CISS versus contrast-enhanced MR cisternography on the evaluation of the aqueductal stenosis. *Neuroradiology* 2010; 52: 99–108.
- Bargalló N, Olondo L, Garcia AI, Capurro S, Caral L, Rumia J. Functional analysis of third ventriculostomy patency by quantification of CSF stroke volume by using cine phase-contrast MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005; 26: 2514–2521.
- Černoch Z. *Neuroradiologie*. Hradec Králové, NUCLEUS HK, 2000.
- Dähnert W. *Radiology Review Manual – fifth edition*. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2003.
- Hadač J. *Ultrazvukové vyšetření mozku přes velkou fontanelu*. Praha, Triton, 2000.
- Hattingen E, Jurcoane A, Melber J, Blasel S, Zanella FE, Neumann-Haefelin T, Singer OC. Diffusion tensor imaging in patients with adult chronic idiopathic hydrocephalus. *Neurosurgery* 2010; 66: 917–924.
- Hattori T, Yuasa T, Aoki S, Sato R, Sawaura H, Mori T, Mizusawa H. Altered microstructure in corticospinal tract in idiopathic normal pressure hydrocephalus: comparison with Alzheimer disease and Parkinson disease with dementia. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011; 32: 1681–1687.
- Ho ML, Rojas R, Eisenberg RL. Cerebral edema. *AJR Am J Roentgenol* 2012; 199: W258–73.
- Iseki C, Kawanami T, Nagasawa H, Wada M, Koyama S, Kikuchi K, Arawaka S, Kurita K, Daimon M, Mori E, Kato T. Asymptomatic ventriculomegaly with features of idiopathic normal pressure hydrocephalus on MRI (AVIM) in the elderly: a prospective study in a Japanese population. *J Neurol Sci* 2009; 277: 54–57.
- Ishii K, Kanda T, Harada A, Miyamoto N, Kawaguchi T, Shimada K, Ohkawa S, Uemura T, Yoshikawa T, Mori E. Clinical impact of the callosal angle in the diagnosis of idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Eur Radiol* 2008; 18: 2678–2683.
- Kahlon B, Annertz M, Ståhlberg F, Rehnström S. Is aqueductal stroke volume, measured with cine phase-contrast magnetic resonance imaging scans useful in predicting outcome of shunt surgery in suspected normal pressure hydrocephalus? *Neurosurgery* 2007; 60: 124–129.
- Keřkovský M, Špráková-Puková A, Kašpárek T, Fadrus P, Mechl M, Válek V. Diffusion tensor imaging – současné možnosti MR zobrazení bílé hmoty mozku. *Cesk Slov neurol N* 2010; 73(106): 136–142.
- Kitagaki H, Mori E, Ishii K, Yamaji S, Hirono N, Imamura T. CSF spaces in idiopathic normal pressure hydrocephalus: morphology and volumetry. *AJNR Am J Neuroradiol* 1998; 19: 1277–1284.
- Möller TB, Reif E. *Normal Findings in CT and MRI*. New York, Thieme Stuttgart, 2000.
- Neuwirth J. *Kompéndium diagnostického zobrazování*. Praha, Triton, 1998.
- Osborn AG, Salzman KL, Barkovich AJ. *Diagnostic Imaging: Brain*, Second Edition. Salt Lake City, Amirsys Publishing, 2009.
- Ragan L, Waczulikova I, Guller L, Bilicky J, Benuska J. Cella media distance in human brain in relation to age and gender. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub* 2009; 153: 307–313.
- Relkin N, Marmarou A, Klinge P, Bergsneider M, Black PM. Diagnosing idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Neurosurgery* 2005; 57(Suppl. 3): S4–S16.
- Sharma AK, Gaikwad S, Gupta V, Garg A, Mishra NK. Measurement of peak CSF flow velocity at cerebral aqueduct, before and after lumbar CSF drainage, by use of phase-contrast MRI: utility in the management of idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Clin Neurol Neurosurg* 2008; 110: 363–368.
- Stoquart-El Sankari S, Lehmann P, Gondry-Jouet C, Fichten A, Godefroy O, Meyer ME, Baledent O. Phase-contrast MR imaging support for the diagnosis of aqueductal stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009; 30: 209–214.
- Urso JA, Ross GJ, Parker RK, Patrizi JD, Stewart B. Colloid cyst of the third ventricle: radiologic-pathologic correlation. *J Comput Assist Tomogr* 1998; 22: 524–527.