

původní práce

Intraoperační magnetická rezonance v konvenční vyšetřovně při endonazálních resekcích adenomů hypofýzy

Intraoperative magnetic resonance imaging in a traditional imaging suite during endonasal pituitary adenoma resection

Petr Vacek¹, Radek Tupý², Vladan Hrabě³, Jan Mraček¹, Ondřej Sebera³, Vladimír Příbáň¹

¹Neurochirurgická klinika LF UK a FN, Plzeň

²Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

³Otorinolaryngologická klinika LF UK a FN, Plzeň

Hlavní stanovisko práce

Cílem sdělení bylo zhodnotit bezpečnost a přínos provádění intraoperační magnetické rezonance v konvenční vyšetřovně při endonazálních resekcích adenomů hypofýzy.

SOUHRN

Vacek P., Tupý R., Hrabě V., Mraček J., Sebera O., Příbáň V. Intraoperační magnetická rezonance v konvenční vyšetřovně při endonazálních resekcích adenomů hypofýzy

Cíl: Ačkoliv použití endoskopu při transsfenoidálním přístupu k adenomům hypofýzy výrazně vylepšilo přehled v operačním poli, stále nejsme schopni dokonale vizualizovat supraselární a paraselární prostory. Formou retrospektivní studie prezentujeme naše zkušenosti s prováděním intraoperační magnetické rezonance v konvenční vyšetřovně při endoskopických endonazálních resekcích adenomů hypofýzy.

Soubor a metodika: Od března 2008 do února 2013 jsme na našem pracovišti operovali endoskopicky endonazálně celkem 50 pacientů s adenomem hypofýzy. První skupinu 25 pacientů bez a druhou skupinu rovněž 25 pacientů již s využitím intraoperačního vyšetření magnetickou rezonancí v konvenční vyšetřovně. Hodnotili jsme nejen četnost radikálních resekcí v obou skupinách, ale i prodloužení výkonu ve druhé skupině, vývoj očních a endokrinologických příznaků v obou skupinách a samozřejmě výskyt komplikací.

Výsledky: Intraoperační vyšetření magnetickou rezonancí bylo úspěšně provedeno u všech pacientů z druhé skupiny bez komplikací spojených s transportem pacienta nebo provedením

Major statement

The study aimed to evaluate the safety and benefit of the performance of intraoperative magnetic resonance imaging in a traditional imaging suite during endonasal pituitary adenoma resection.

SUMMARY

Vacek P., Tupý R., Hrabě V., Mraček J., Sebera O., Příbáň V. Intraoperative magnetic resonance imaging in a traditional imaging suite during endonasal pituitary adenoma resection

Aim: Although the usage of an endoscope during the transsfenoidal approach to pituitary adenomas significantly extended the surgeon's field of view, we are still not able to visualize suprasellar and parasellar spaces. We are presenting our experience with intraoperative magnetic resonance imaging in traditional MRI suite during endoscopic endonasal pituitary adenoma resection in a form of a retrospective study.

Methods: From March 2008 to February 2013 we performed endoscopic endonasal pituitary adenoma resection on 50 patients at our department. Surgical outcomes were compared between the first 25 patients (no iMRI) and the second 25 patients with whom iMRI was used. We evaluated not only the number of total resections in both groups, but also the prolongation of the time of the surgery in the second group. We also evaluated the progression of ophthalmic and endocrinological symptoms in both groups and the rate of complications.

Results: Intraoperative magnetic resonance imaging was successfully performed on all of the patients within the second group without any complications connected with the

Přijato: 30. 1. 2020

Korespondenční adresa:

MUDr. Petr Vacek, Ph.D.
Neurochirurgická klinika LF UK a FN, Plzeň
alej Svobody 80, 323 00 Plzeň
e-mail: pepe.vacek@seznam.cz

Konflikt zájmů: žádný.

Podpořeno MZ ČR – RVO (Fakultní nemocnice Plzeň PNPI, 00669806).

vyšetření. Průměrná délka výkonu se prodloužila z 205 na 238 minut (hraničně statisticky nevýznamné). Radikální resekci adenomu jsme dosáhli u sedmi pacientů (28 %) z první skupiny a u 16 pacientů (64 %) z druhé skupiny (statisticky významný rozdíl). Mezi oběma skupinami jsme nezaznamenali statisticky významné rozdíly ve výskytu diabetu insipidu, ve zlepšení perimetru po operaci ani ve výskytu intraoperační a pooperační likvorey.

Závěry: Studie potvrdila přínos intraoperační magnetické rezonance ke zvýšení rozsahu resekce adenomů hypofýzy při endonazálním přístupu bez zvýšení počtu pooperačních komplikací. Navíc ukázala, že při příznivé stavební konfiguraci je provádění tohoto vyšetření u endonazálních výkonů bezpečné i v konvenční vyšetřovně.

Klíčová slova: adenom hypofýzy, intraoperační magnetická rezonance, endonazální endoskopická chirurgie, radikální resekce.

transport of the patient or the execution of the procedure. The average length of the surgery was prolonged from 205 to 238 minutes (marginally statistically insignificant). We achieved total adenoma resection in seven cases (28%) in the first group and in 16 cases (64%) in the second group (statistically significant difference). Within both of the groups, we did not detect any statistically significant differences in diabetes insipidus occurrence, in postoperative visual field improvement, and not even in intraoperative and postoperative cerebrospinal fluid leak.

Conclusion: The possibility of monitoring the extent of the pituitary adenoma resection during endonasal approach with an intraoperative magnetic resonance imaging significantly improves the results of the surgery. In case of favourable building layout, performing this procedure in traditional MRI suite is safe.

Key words: pituitary adenoma, intraoperative magnetic resonance imaging, endonasal endoscopic surgery, total resection.

ÚVOD

V současné době je endonazální přístup využíván jako metoda volby u více než 90 % resekci hypofyzárních adenomů a stále více i při operativě dalších nejrozličnějších patologií báze lební (1–5). Ačkoliv použití endoskopu výrazně vylepšilo pohled do operačního pole, stále nejsme schopni při transsfenoidálním přístupu dokonale vizualizovat supraselární a paraselární prostory. To nepochybně přispívá k četnosti subtotálních resekci, často s nutností další léčby adenomu (reoperace, stereotaktická radiochirurgie). Naopak u některých invazivních adenomů je někdy těžké zvažovat, jak moc radikální má resekce být po dekompresi zrakové dráhy; s ohledem na jiné metody další léčby. Větší radikalita vždy zvyšuje riziko případných komplikací. Neuro-navigace nám umožňuje přesný přístup k tureckému sedlu a lokalizaci adenomu (6), limitem ale zůstává práce pouze s předoperačními daty, což neumožňuje dobře hodnotit rozsah resekce. Z těchto důvodů začala být používána i u transsfenoidálních přístupů intraoperační magnetická rezonance (iMR) (7). Nejvýznamnějším přínosem této techniky je možnost zhodnocení velikosti resekce v reálném čase před uzavřením operačního přístupu. Reziduum adenomu může být skryto za arachnoidálními septy,

pokleslým diafragmatem, pseudokapsulou tumoru nebo za fibrózními septy uvnitř adenomu imitujícími diafragma. Tato místa zůstávají skryta i jinak dokonalému zobrazení operačního pole endoskopem.

METODIKA

V našem sdělení prezentujeme způsob provádění iMR při endoskopických endonazálních resekci adenomů hypofýzy v konvenční MR vyšetřovně tak, jak jej používáme na našem pracovišti.

Hodnocený soubor tvoří dvě skupiny pacientů operovaných endoskopicky endonazálně pro adenom hypofýzy. Jednalo se pouze o primooperace, do souboru nebyli zahrnuti pacienti operovaní pro reziduum nebo recidivu adenomu hypofýzy. První skupinu tvoří pacienti operovaní před zavedením iMR (III/2008 až VI/2010), druhou skupinu potom pacienti operovaní již s využitím iMR (VIII/2010 až II/2013). Všichni pacienti podepsali předoperační souhlas, ve kterém je od VIII/2010 uvedena skutečnost, že během operace bude provedena iMR a způsob jejího provedení. Každá skupina obsahovala 25 pacientů, v obou skupinách bylo shodně 14 mužů a 11 žen. V první skupině byl průměrný věk 57,9 let (směrodatná odchylka 16,2), ve druhé skupině 59,4 let

(směrodatná odchylka 9,4), bez statistické významnosti rozdílu ($p = 0,862$). Outcome pacientů byl sledován a hodnocen pro studii minimálně 36 měsíců po operaci (36–63 měsíců).

Operační výkon byl vždy zahájen kalibrací neuronavigace (Medtronic StealthStation). Následně otorinolaryngolog provedl endoskopicky binostrálním přístupem přední sfenoidotomii a umožnil tak přístup k vlastní patologii. Ve výkonu pak pokračoval neurochirurg otevřením přední stěny tureckého sedla a resekci adenomu. Před zavedením iMR byla resekce ukončena, když ji operátor považoval za radikální nebo za maximálně možnou vzhledem k aktuální situaci v operačním poli.

Na konci výkonu bez intraoperační likvorey operátor pouze vložil do dutiny po tumoru malé množství hemostatického materiálu (Surgicel Fibrillar) a dle velikosti přístupu v přední stěně sedla jej buď ponechal otevřený nebo jej uzavřel polyetylenovou dlahou (Medpor). Vznikla-li intraoperačně likvoreja, v případě nevelké likvorey bylo místo přelepeno tkáňovým lepidlem (TachoSil), sedlo opět vyplněno hemostatikem a otvor v přední stěně byl vždy uzavřen dlahou. U masivní likvorey byl proveden odběr svalověfasciálního štěpu z břišní stěny a byla provedena sendvičová plastika defektu dury, sedlo bylo opět vždy uzavřeno dlahou. U pacientů s intraoperační likvoreou byla po výkonu vždy zavedena zevní lumbální drenáž na čtyři až devět dní.

Pacient byl vždy převezen na iMR vyšetření poté, co operátor rozhodl vzhledem k průběhu výkonu o jejím provedení. Před odjezdem byla po kontrole hemostázy provedena pouze přední nosní tamponáda, turecké sedlo zůstalo bez arteficiálního materiálu. Pacient byl odvezen na operačním stole k překladišti pacientů na centrálních operačních sálech, kde byl přeložen na MR kompatibilní stůl. Na něm byl pak převezen po 100metrové trase do konvenční MR vyšetřovny a tam byl přeložen již do vlastní gantry MR.

MR vyšetřovna je vybavena anesteziologickými MR kompatibilními přístroji, neboť se v ní rutinně provádějí vyšetření v celkové anestezii, hlavně dětských pacientů. Všechna vyšetření byla provedena na přístroji síly 1,5 T (Siemens) v hlavové cívce, po podání kontrastní látky, krátkým protokolem s GE sekvencemi T1w FLASH 3D sagitálně

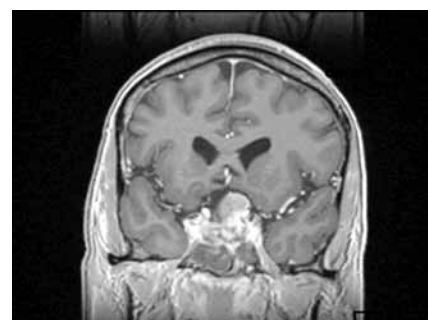
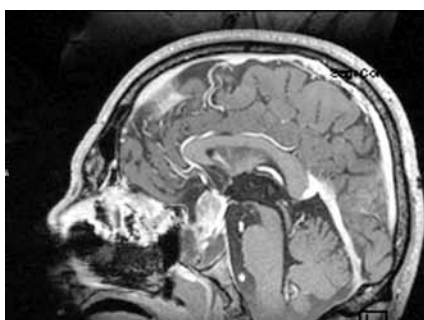
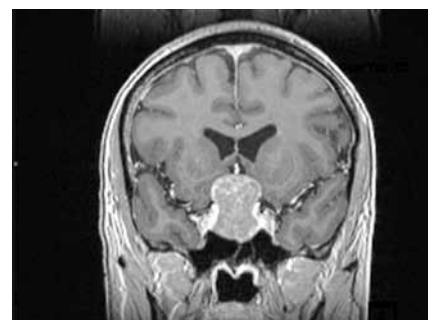
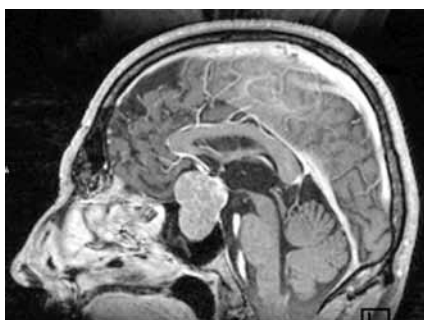


1 Pacient při iMR – vpravo MR kompatibilní anesteziologický přístroj
Patient during iMRI – MR compatible device is on the right

a koronárně, širší vrstvy 2 mm, délka trvání 1,11 min, dle potřeby doplněným navigačním protokolem T1w GE FLASH iso, délka trvání 6,11 min. Celková doba přerušení výkonu včetně transportu pacienta byla v rozmezí 45–60 minut (obr. 1).

Vyšetření bylo vždy hodnoceno ve spolupráci operátora a radiologa

a snímky byly dle potřeby přeneseny do navigační stanice. Po návratu na operační sál byl pacient znovu zarouškován a po kalibraci navigace s intraoperačním vyšetřením bylo buď dále pokračováno v resekci adenomu, nebo byl výkon ukončen a přístup byl uzavřen již výše uvedeným způsobem podle přítomnosti nebo nepřítomnosti likvorey (obr. 2, 3).

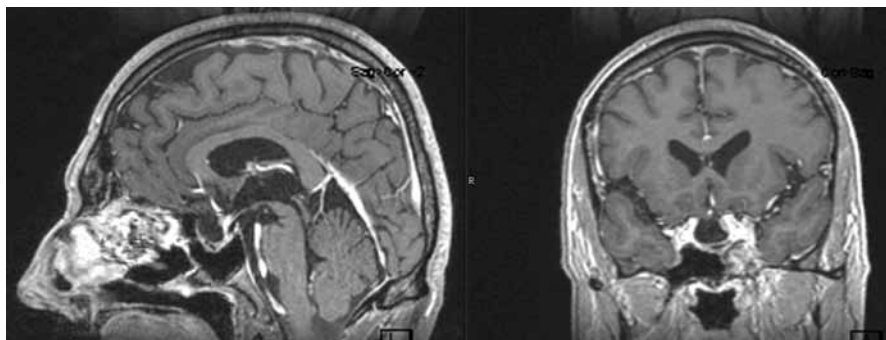


2 Makroadenom hypofýzy – nahoře předoperační, dole intraoperační MR s reziduem za pokleslým diafragmatem, sagitální a koronární rovina
Pituitary macroadenoma, MRI – preoperative above, intraoperative below with residual tumor behind depressed sellar diaphragma, sagittal and coronal plane

3a



3b



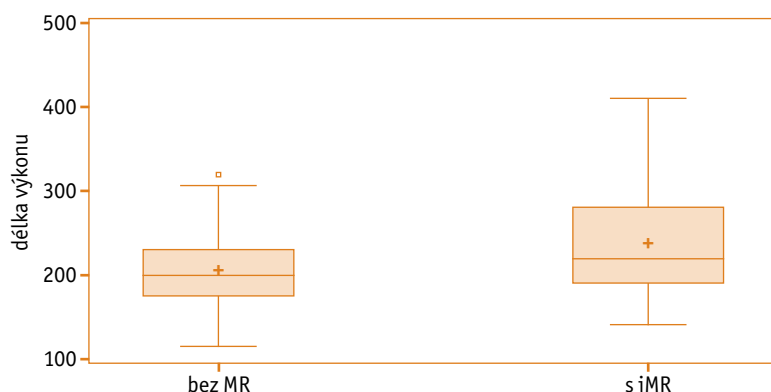
3 Intraoperační snímek z endoskopu: a – šipka ukazuje na zahnutou kyretu při odstraňování rezidua adenomu skrytého za pokleslým diafragmatem, diafragma označeno hvězdičkou; b – kontrolní MR za 4 měsíce po operaci, sagitální a koronární rovina

Intraoperative endoscopic view: a – showing the removal of residual adenoma hidden behind depressed sellar diaphragm (curved curette is marked by arrow, diaphragm is marked by asterisk); b – MRI four months after surgery below, sagittal and coronal plane

Druhé iMR vyšetření během jednoho výkonu nebylo provedeno u žádného pacienta v hodnoceném souboru.

Statistická analýza získaných dat pacientů z obou souborů byla provedena

s užitím software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Na porovnání distribucí jednotlivých parametrů v různých skupinách a podskupinách, vzhledem k distribucím těchto proměnných,



Graf 1. Porovnání délky výkonu u obou skupin pacientů

Graph 1. Comparison of the length of the surgery in both groups of patients

byl použit neparametrický Wilcoxonův test. Rozdíl kategoriálních proměnných byl testován pomocí χ^2 -testu a Fisherova exaktního testu. Statistická významnost byla stanovena na hranici $\alpha = 5\%$.

VÝSLEDKY

Průměrná velikost adenomu v první skupině byla 11,9 cm³ (směrodatná odchylka 9,6), ve druhé 16,4 cm³ (směrodatná odchylka 18,5), bez statistické významnosti rozdílu ($p = 0,6713$).

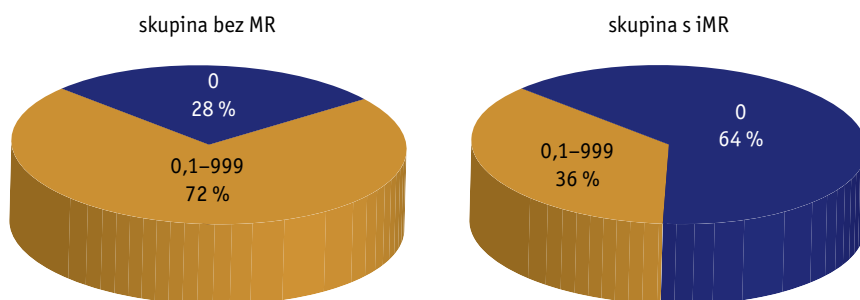
Předoperačně byla přítomna porucha perimetru v první skupině u 22 pacientů (88 %), ve druhé u 20 pacientů (80 %) – bez statistické významnosti rozdílu ($p = 0,3077$).

iMR bylo úspěšně provedeno u všech 25 pacientů v druhém souboru. Průměrná délka výkonu se prodloužila z 205 min (směrodatná odchylka 52,4) v první skupině na 238 min (směrodatná odchylka 64,8) ve druhé skupině – hraničně statisticky nevýznamný rozdíl ($p = 0,0770$) (graf 1). Nezaznamenali jsme žádné komplikace spojené s transportem pacienta a provedením vyšetření.

Při iMR jsme reziduum adenomu prokázali u 19 pacientů (76 %), u 17 pacientů jsme pokračovali v další resekci. Průměrná velikost rezidua na iMR byla 4,9 cm³ (směrodatná odchylka 9,5). U šesti pacientů (24 %) jsme tedy již při iMR prokázali radikální resekci umožňující uzavření přístupu a ukončení výkonu. Tento nálezn byl ve všech případech potvrzen na kontrolní MR za 4 měsíce po výkonu (100% senzitivita i specifita).

Na prvním pooperačním MR vyšetření za 4 měsíce po výkonu byla prokázána přítomnost rezidua u 18 pacientů (72 %) z první skupiny a u devíti pacientů (36 %) ze druhé skupiny. Ze 17 pacientů ze druhé skupiny, u kterých jsme po iMR ještě pokračovali v resekci, jsme reziduum prokázali u sedmi pacientů (41 %). Průměrná velikost rezidua v první skupině pacientů byla 4,1 cm³ (směrodatná odchylka 4,9), ve druhé skupině 1,9 cm³ (směrodatná odchylka 3,8). Celkově jsme tedy dosáhli radikální resekci u sedmi pacientů (28 %) v první skupině pacientů a u 16 pacientů (64 %) ve skupině druhé – statisticky významný rozdíl ($p = 0,0222$) (graf 2).

Resekci rezidua adenomu jsme indikovali u 12 pacientů (66,7 %



Graf 2. Srovnání četnosti radikálních resekcí (velikost rezidua 0) u obou skupin pacientů

Graph 2. Comparison of frequency of radical adenoma resection (residuum size 0) in both groups of patients

z prokázaných reziduí) z první skupiny pacientů a u dvou pacientů (22,2 % z prokázaných reziduí) ze druhé skupiny – statisticky významný rozdíl ($p = 0,0450$).

Pooperační likvorea se v první skupině pacientů nevyskytla, ve druhé skupině pacientů se vyskytla u jednoho pacienta (4 %) a vyžádala si endonazální plastiku – bez statistické významnosti rozdílu ($p = 1,0000$).

Po operaci se perimetr nezhoršil u žádného pacienta. V první skupině pacientů se perimetr zlepšil u 20 pacientů (80 %), ve druhé u 18 pacientů (72 %), u ostatních zůstal beze změny – bez statistické významnosti rozdílu ($p = 0,7416$).

V první skupině pacientů se po operaci nevyskytly chirurgické komplikace, ve druhé skupině se vyskytly dvě (významná epistaxe 6. den po výkonu – vyřešena bez nutnosti anestezie – a symptomatický pneumocefalus s přechodnou kvalitativní poruchou vědomí léčený konzervativně) – bez statistické významnosti rozdílu ($p = 0,4898$).

Nechirurgické pooperační komplikace se v první skupině pacientů objevily tři (SIADH, TIA, plicní embolie), ve druhé potom dvě (SIADH, colitis s pozitivitou *Clostridium difficile*) – bez statistické významnosti rozdílu ($p = 1,0000$).

DISKUSE

V polovině devadesátých let 20. století pokročil vývoj MR přístrojů natolik, že bylo možné MR implementovat do vybavení operačních sálů. Ihned se objevily první pionýrské práce o využití iMR v neurochirurgii (8). Následovali zkušenosti s využitím iMR při

transsfenoidálních výkonech v kombinaci s navigačním systémem (9–12).

Zpočátku využívané tzv. „low-field“ přístroje jsou sice levnější, ale většina autorů se v literatuře shodla, že špatně zobrazují paraselární krajinu a menší rezidua (13, 14). „High-field“ přístroje jsou samozřejmě výrazně dražší a náročnější na stavební úpravy, ale umožňují rozeznat drobná rezidua, mikroadenomy, rozsah extenze tumoru do kavernózních splavů a komprimovanou nebo dislokovanou normální žlázu (15). Na našem pracovišti máme zkušenosti pouze s „high-field“ přístrojem, všichni pacienti ze druhé skupiny byli vyšetřeni přístrojem o síle magnetu 1,5 T.

Po zahájení endonazální operativy na našem pracovišti logicky vznikla potřeba provádět iMR vzhledem k jejímu velkému přínosu v neurochirurgii obecně, ale obzvláště při endonazálních resekcích adenomů hypofýzy, což je již bohatě literálně dokumentováno (16–19). Myšlenka provádět iMR v konvenční vyšetřovně vyšla ze skutečnosti, že endonazální výkon není primárně sterilní – dutinu nosní technicky nelze před operací natolik dezinfikovat, aby mohla být prohlášena za sterilní. Navíc vlastní „intrakraniální“ přístup je minimální a přístup k němu je v podstatě uzavřen přední nosní tamponádou, se kterou pacient na iMR odjíždí. Teoreticky tedy nic nebrání převozu pacienta v narkóze do MR vyšetřovny, pokud je v jedné budově. Podobně jsou v narkóze převáženi pacienti po jiných operačních výkonech na časné kontrolní CT nebo MR vyšetření. Týká se to hlavně dětských pacientů po resekcích intrakraniálních tumorů, kde by časná kontrolní MR 2. den znamenala zbytečnou zátěž další narkózou, proto na naší klinice toto vyšetření děláme v jedné

narkóze ihned po skončení výkonu. Z toho vyplývá, že technické vybavení MR vyšetřovny je připraveno a anesteziologové a radiologičtí laboranti jsou schopni MR vyšetření pacienta v narkóze bezpečně provést. Potvrdila to i naše studie, kdy ve skupině pacientů s provedeným iMR nebyla zaznamenána žádná komplikace související s převozem pacienta ze sálu do MR vyšetřovny a provedením iMR.

Maximálně možná bezpečná resekce zůstává metodou volby při léčbě afunkčních adenomů hypofýzy a důležitým krokem při kombinované léčbě funkčních adenomů. Přínos iMR v této situaci je logický a značný (20).

Výtěžnost iMR při endonazální resekcí adenomu hypofýzy závisí na schopnosti získat kvalitní zobrazení hodnotitelné během operace. Měli bychom být ze snímků schopni odlišit reziduum adenomu od přilehlých anatomických struktur (chiasma, stopka hypofýzy a normální žláza) a čerstvých operačních změn (krev, vzduch). V našem souboru s iMR se podařilo u všech 25 pacientů získat technicky zdařilé zobrazení a u žádného z pacientů, u kterých na iMR nebylo zobrazeno reziduum adenomu a přístup byl tedy pouze uzavřen bez další resekce, se nezobrazilo reziduum ani na MR kontrole po 4 měsících. Naproti tomu u všech pacientů, u kterých jsme pro reziduum na iMR pokračovali v resekcí, jsme vždy našli a resekovali ještě další hmoty adenomu. V některých případech jsme tak dosáhli radikální resekce a výsledné zhodnocení obou skupin pacientů pak prokázalo statisticky významně vyšší počet radikálních resekcí ve skupině pacientů s iMR.

Falešně pozitivní nález na iMR může vést ke zbytečné exploraci sellární a suprasellární krajiny a tím ke zvýšení rizika vzniku intraoperačního likvorey, pooperačního hypopituitarismu a v nejhorším případě i poranění zřetelných nebo cévních struktur. Výše specifity a senzitivity iMR k detekci reziduí adenomu je přes její mnohokrát prokázaný benefit stále předmětem diskusí (21). Četnost chirurgických a nechirurgických komplikací se u našich pacientů ze skupiny s iMR statisticky významně nezměnila. Rovněž tak procento výskytu pooperačního likvorey se u obou skupin pacientů statisticky neliší. Neliší se ani procento zlepšení perimetru (ke zhoršení nedošlo

u žádného pacienta z celého souboru) v obou skupinách pacientů.

Dalším benefitem použití iMR je detekce případných intraoperačních komplikací, na které lze tedy ihned reagovat, např. hematomu s možným provalením do III. nebo i postranních komor (5, 22). V naší skupině pacientů s iMR jsme takovou situaci nezaznamenali.

Asi nejvýznamnější nevýhodou provedení iMR je prodloužení délky operačního výkonu o čas potřebný k provedení a interpretaci vyšetření iMR. V našem souboru došlo k průměrnému prodloužení operace po zavedení iMR o 33 min – nárůst hraničně statisticky nevýznamný. Čas, o který se

prodloužila celková doba operačního výkonu s iMR, je kratší v porovnání s časem nutným k provedení vlastní iMR. Vysvětlení vidíme v tom, že operátor počítal s provedením iMR a věnoval tak kratší dobu exploraci sellární krajiny po odstranění primárně dostupných partií adenomu u pacientů ve druhé skupině.

Použití endoskopu při transsfenoidální resekci adenomu hypofýzy už samo o sobě zvyšuje přehled v operačním poli a tím radikalitu výkonu, ale i podle dalších autorů kombinace endoskopu s využitím iMR ještě dále zvyšuje procento radikálních resekcí (16, 23).

ZÁVĚR

Rozsah resekce adenomu hypofýzy výrazně ovlivňuje nutnost případné další léčby a procento recidiv onemocnění. Možnost monitorace rozsahu resekce při operaci pomocí iMR tedy výrazně zlepšuje výsledky endonazální chirurgické léčby. Navíc iMR může odhalit skrytou komplikaci výkonu (např. krvácení) a umožní tak její řešení ještě během výkonu. Naše studie potvrdila, že se jedná o metodu bezpečnou a při příznivé stavební konfiguraci, kdy je MR vyšetřovna blízko operačního traktu, lze u endonazálních operací provést toto vyšetření i v konvenční vyšetřovně. ●

LITERATURA

1. Cappabianca P, Alfieri A, de Divitiis E. Endoscopic endonasal transsphenoidal approach to the sella: Towards functional endoscopic pituitary surgery (FEPS). *Minim Invas Neurosurg* 1998; 41(2): 66–73.
2. Kassam A, Snyderman CH, Mintz A, Gardner P, Carrau RL. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part I. Crista galli to the sella turcica. *Neurosurg Focus* 2005; 19(1): E3.
3. Kassam A, Snyderman CH, Mintz A, Gardner P, Carrau RL. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part II. Posterior clinoids to the foramen magnum. *Neurosurg Focus* 2005; 19(1): E4.
4. Lipina R, Matoušek P, Paleček T, Komínek P. Rozšířený transnazální endoskopický přístup k nádorům lebeční spodiny a očnice. *Cesk Slov Neurol N* 2012; 75/108(3): 326–332.
5. Netuka D, Masopust V, Belšán, et al. Endoskopické endonazální operace meningeomů baze lební. *Cesk Slov Neurol N* 2013; 76/109(4): 446–452.
6. Zhao Y, Yu S, Wang R, Zhao J. Clinical application of a neuronavigation system in transsphenoidal surgery of pituitary macroadenoma. *Neurosurg Rev* 2006; 29: 306–312.
7. Steinmeier R, Fahlbusch R, Ganslandt O, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging with the Magnetom open scanner: Concepts, neurosurgical indications, and procedures—A preliminary report. *Neurosurgery* 1998; 43: 739–747.
8. Black PM, Moriarty T, Alexander E 3rd, et al. Development and implementation of intraoperative magnetic resonance imaging and its neurosurgical applications. *Neurosurgery* 1997; 41: 831–845.
9. Anand VK, Schwartz TH, Hiltzik DH, Kacker A. Endoscopic transphenoidal pituitary surgery with real-time intraoperative magnetic resonance imaging. *Am J Rhinol* 2006; 20: 401–405.
10. Fahlbusch R, Ganslandt O, Buchfelder M, Schott W, Nimsy C. Intraoperative magnetic resonance imaging during transsphenoidal surgery. *J Neurosurg* 2001; 95: 381–390.
11. Martin CH, Schwartz R, Jolesz F, Black PM. Transsphenoidal resection of pituitary adenomas in an intraoperative MRI unit. *Pituitary* 1999; 2: 155–162.
12. Pergolizzi RS Jr, Nabavi A, Schwartz RB, et al. Intra-operative MR guidance during trans-sphenoidal pituitary resection: Preliminary results. *J Magn Reson Imaging* 2001; 13: 136–141.
13. Gerlach R, Mesnil de Rochemont du R, Gasser T, et al. Feasibility of Polestar N20, an ultra-low-field intraoperative magnetic resonance imaging system in resection control of pituitary macroadenomas: lessons learned from the first 40 cases. *Neurosurgery* 2008; 63(2): 272–284.
14. Bellut D, Hlavica M, Schmid C, Bernays RL. Intraoperative magnetic resonance imaging-assisted transsphenoidal pituitary surgery in patients with acromegaly. *Neurosurg Focus* 2010; 29(4): E9.
15. Pinker K, Ba-Ssalamah A, Wolfsberger S, et al. The value of high-field MRI (3 T) in the assessment of sellar lesions. *Eur J Radiol* 2005; 54: 327–334.
16. Schwartz TH, Stieg PE, Anand VK. Endoscopic transsphenoidal pituitary surgery with intraoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 2006; 58 (1 Suppl): ONS44–ONS51.
17. Netuka D, Masopust V, Belšán T, Kramář F, Beneš V. One year experience with 3.0 T intraoperative MRI in pituitary surgery. *Acta Neurochir Suppl* 2011; 109: 157–159.
18. Nimsy C, von Keller B, Ganslandt O, Fahlbusch R. Intraoperative high-field magnetic resonance imaging in transsphenoidal surgery of hormonally inactive pituitary macroadenomas. *Neurosurgery* 2006; 59: 105–114.
19. Ramm-Petersen J, Berg-Johnsen J, Hol PK, et al. Intraoperative MRI facilitates tumour resection during transsphenoidal surgery for pituitary adenomas. *Acta Neurochir (Wien)* 2011; 153: 1367–1373.
20. Nimsy C, Ganslandt O, Von Keller B, Romstock J, Fahlbusch R. Intraoperative high-field-strength MR imaging: implementation and experience in 200 patients. *Radiology* 2004; 233: 67–78.
21. Buchfelder M, Schlaffer SM. Intraoperative magnetic resonance imaging during surgery for pituitary adenomas: pros and cons. *Endocrine* 2012; 42(3): 483–495.
22. Bohinski RJ, Warnick RE, Gaskill-Shiple MF, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging to determine the extent of resection of pituitary macroadenomas during transsphenoidal microsurgery. *Neurosurgery* 2001; 49: 1133–1144.
23. Zaidi HA, De Los Reyes K, Barkhoudarian G, et al. The utility of high-resolution intraoperative MRI in endoscopic transsphenoidal surgery for pituitary macroadenomas: early experience in the Advanced Multimodality Image Guided Operating suite. *Neurosurg Focus* 2016; 40(3): E18. doi: 10.3171/2016.1.FOCUS15515