

KONTRASTNÍ MR ANGIOGRAFIE S POUŽITÍM PARALELNÍCH AKVIZIČNÍCH TECHNIK V DIAGNOSTICE STENÓZY RENÁLNÍ TEPNY

CONTRAST-ENHANCED MR ANGIOGRAPHY UTILIZING PARALLEL ACQUISITION TECHNIQUES IN RENAL ARTERY STENOSIS DETECTION

původní práce

Martin Slanina¹
Jan Žižka¹
Ludovít Klzo¹
Miroslav Lojík¹
Jiří Ceral²

¹Radiologická klinika LF UK a FN,
Hradec Králové

²I. interní klinika LF UK a FN,
Hradec Králové

Přijato: 20. 12. 2006

Korespondenční adresa:

MUDr. Martin Slanina
Radiologická klinika LF UK a FN
Sokolská 581,
500 05 Hradec Králové
e-mail: slaninajcin@seznam.cz

SOUHRN

Slanina M, Žižka J, Klzo L, Lojík M, Ceral J. Kontrastní MR angiografie s použitím paralelních akvizičních technik v diagnostice stenózy renální tepny

Cíl. Cílem studie bylo stanovit diagnostickou výtěžnost kontrastní MR angiografie (MRA) s použitím paralelních akvizičních technik v diagnostice stenózy renální tepny.

Metoda. Celkem bylo vyšetřeno 70 nemocných s hypertenzní chorobou a podezřením na stenózu renální tepny. Vyšetření byla prováděna na přístroji Magnetom Symphony Maestro Class 1,5 T s použitím array cívek. Průchod bolusu kontrastní látky byl monitorován metodou bolus tracking. Parametry MRA sekvence byly: TR 3,7 ms; TE 1,2 ms; flip angle 25°; akviziční doba 18 s; velikost voxelu 1,1 × 1,0 × 1,1 mm; centrický náběh dat v k-prostoru; paralelní akviziční techniky s akceleračním faktorem 2 (GRAPPA). Za hemodynamicky významnou byla považována stenóza 60 % a více. Výsledky MRA byly porovnávány s nálezem na digitální subtrakční angiografii, která sloužila jako zlatý standard.

Výsledky. Senzitivita a specifita MRA v detekci hemodynamicky významné stenózy renální tepny byla 92 %, respektive 95 %. Její prevalence v našem souboru činila 37 %.

Závěr. Při splnění parametrů dostatečného geometrického rozlišení vykazuje kontrastní MR angiografie vysokou senzitivitu a specifitu v diagnostice stenózy renální tepny.

Klíčová slova: kontrastní MR angiografie (MRA), digitální subtrakční angiografie (DSA), stenóza renální tepny (RAS).

SUMMARY

Slanina M, Žižka J, Klzo L, Lojík M, Ceral J. Contrast-enhanced MR angiography utilizing parallel acquisition techniques in renal artery stenosis detection

Aim. The aim of our study was to assess the diagnostic value of contrast-enhanced MR angiography (MRA) utilizing parallel acquisition techniques in the detection of renal artery stenosis.

Method. Seventy hypertensive subjects with suspected renal artery stenosis were examined on a 1.5 Tesla MR system with body array coil. Bolus tracking was used to monitor the arrival of contrast agent to the abdominal aorta. The MRA sequence parameters were as follows: TR 3.7 ms; TE 1.2 ms; flip angle 25°; acquisition time 18 s; voxel size 1.1 × 1.0 × 1.1 mm; centric k-space sampling; parallel acquisition techniques with acceleration factor of 2 (GRAPPA). Renal artery stenosis of 60 % and more was considered hemodynamically significant. The results of MRA were compared to digital subtraction angiography serving as a standard of reference.

Results. Sensitivity and specificity of MRA in the detection of hemodynamically significant renal artery stenosis were 92 % and 95 %, respectively. Its prevalence was 37 % in our study population.

Conclusion. Contrast-enhanced MRA with high spatial resolution offers sufficient sensitivity and specificity for screening of renal artery stenosis.

Key words: contrast-enhanced MR angiography (MRA), digital subtraction angiography (DSA), renal artery stenosis (RAS), renovascular hypertension.

ÚVOD

Nejčastější příčinou stenózy renální tepny (RAS) je ateroskleróza (70–90 % případů) a fibromuskulární dysplazie (10–30 % případů) (1, 2). Ateroskleróza (AS) postihuje obvykle ústí a proximální úseky renálních tepen, u 1/3 pacientů je postižení oboustranné. AS zúžení nacházíme zejména u starších jedinců, o něco častěji u mužů než u žen. Naproti tomu s fibromuskulární dysplazií (FMD) se setkáváme spíše u mladších nemocných, především žen (3× častěji než u mužů) ve 3. a 4. deceniu života (3, 4). Typicky postihuje střední a distální úseky kmene tepny s možným přechodem na její větvení (v proximální třetině je asi 30 % nálezů). Pozoruje se lehká predilekce k postižení pravé tepny, ve 2/3 případů je postižení oboustranné (3, 5).

Až ve 30 % se vyskytují nadpočetné renální tepny; nejčastěji je renální tepna zdvojená, vzácněji vidáme i více akcesorních renálních tepen, které mohou být rovněž stenozovány (2, 4).

RAS může způsobit sekundární, tzv. renovaskulární hypertenzi a/nebo vést k selhání ledvin (1, 6). Renovaskulární hypertenze (RVH) je nejčastěji zapříčiněna stenózou hlavní renální tepny, vzácně však může být způsobena i stenózou na akcesorní renální tepně (2). Pokud je jedna ledvina zdravá, reguluje objem plazmy zvýšená diuréza a v popředí je vazokonstrikční efekt reninu. Je-li funkce druhé ledviny nedostatečná, podílí se na hypertenzi i zvětšení objemu plazmy (7). RVH je zodpovědná za méně než 5 % všech hypertenzí v dospělé populaci (2, 5, 8), ale až za 20 % všech hypertenzí refrakterních na běžnou medikamentózní léčbu (6). U dětí je její prevalence vyšší než u dospělých, RVH je přítomna zhruba u 10 % hyperteniků (4). Vznik RVH je podmíněn aktivací renin–angiotenzin–aldosteronového systému (RAAS), je však známa řada případů, kdy ani těsné zúžení renální tepny nevedlo k rozvoji hypertenze. Příčina, proč u některých stenóz dojde ke spuštění RAAS a u jiných nikoli, není v současnosti známa (9). Renální insuficience způsobená hypoperfuzí ledvin vzniká u oboustranné RAS či jednostranné RAS při monofunkční ledvině, poměrně často při AS postižení, zatímco FMD ovlivňuje renální funkce zřídka (3, 10). Ischemická nefropatie představuje kolem 20 % ledvinových selhání u dialyzovaných nemocných (9). RAS je potenciálně dobře perkutánně léčitelná, proto její včasná a pokud možno neinvazivní diagnóza je nezbytná k prevenci závažných komplikací, jakými jsou refrakterní hypertenze či renální insuficience (4, 6).

Jednou z metod vhodných ke stanovení této diagnózy je MR angiografie (MRA), především díky své miniinvazivitě a nízké nefrotoxicitě (11). Nicméně výsledky současných studií hodnotících její výtěžnost se značně liší a hodnoty senzitivity a specifity se pohybují v relativně širokém rozmezí (62–100 % a 75–100 %) (1, 6, 8). Cílem studie bylo stanovit diagnostickou výtěžnost kontrastní MRA s použitím paralelních akvizičních technik v diagnóze RAS ve srovnání se zlatým standardem – digitální subtrakční angiografií (DSA).

MATERIÁL A METODA

Od října 2004 do listopadu 2006 bylo vyšetřeno 70 nemocných (40 mužů a 30 žen) ve věku od 9 do 78 let (průměr

59 let) s hypertenzní chorobou a podezřením na RAS pomocí kontrastní MRA. Jednalo se o nemocné s vysokou suspekci na výskyt renovaskulární hypertenze, kteří byli primárně indikováni k DSA. MRA byla prováděna vždy před DSA, tzn., že interpretace MRA nálezů probíhala bez znalosti nálezů na DSA. Maximální odstup mezi oběma vyšetřeními byl 3 měsíce.

MR vyšetření jsme prováděli na přístroji Magnetom Symphony Maestro Class 1,5 T (Siemens, Erlangen, SRN) s použitím array cívek. Během vyšetření bylo pacientovi do antekubitální žíly podáno 10 ml 1M paramagnetické kontrastní látky (gadobutrol – Gadovist, Schering, Berlin, SRN) rychlostí 2 ml/s s následným proplachem 20 ml fyziologického roztoku, aplikovaného stejnou rychlostí. Standardní podmínky vstřiku byly zajištěny použitím automatického injektoru (Spectris Solaris; Medrad, Indianola, USA). Průchod bolusu kontrastní látky byl monitorován pomocí MR skiaskopie (bolus tracking). Parametry MRA sekvenční byly: TR 3,7 ms; TE 1,2 ms; flip angle 25°; akviziční doba 18 s; velikost voxelu 1,1 × 1,0 × 1,1 mm; centrický náběh dat v k-prostoru; paralelní akviziční techniky s akceleračním faktorem 2 (generalized autocalibrating partially parallel acquisition – GRAPPA). RAS byla kvantifikována zhodnocením redukce průměru v postiženém úseku renální tepny, za hemodynamicky významnou byla považována stenóza 60 % a více.

VÝSLEDKY

Celkem bylo u 70 osob vyšetřeno 139 hlavních renálních tepen (v 1 případě se jednalo o solitární ledvinu u nemocné po pravostranné nefrektomii). Správně negativní nález jsme zaznamenali u 83 hlavních renálních tepen (obr. 1), správně pozitivní nález hemodynamicky významné stenózy jsme zaznamenali u 48 hlavních renálních tepen (obr. 2, 3, 4). Čtyři nálezy RAS byly falešně pozitivní a čtyři falešně negativní (obr. 5). Senzitivita a specifita kontrastní MRA v detekci hemodynamicky významné RAS byla tedy 92 %, respektive 95 %. Prevalence RAS v našem souboru činila 37 %.

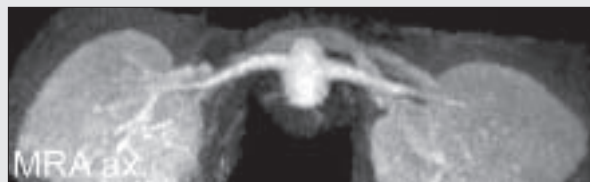
Dále bylo zobrazeno 28 akcesorních renálních tepen. Ve 2 případech MRA akcesorní renální tepnu nezobrazila, na druhé straně ale identifikovala 3 akcesorní tepny nezachycené na DSA. Na 2 akcesorních renálních tepnách byla pomocí MRA zachycena hemodynamicky významná stenóza, která byla následně verifikována i pomocí DSA (obr. 6).

DISKUZE

Ze zobrazovacích metod se k diagnostice RAS v současnosti využívá dopplerovská ultrasonografie (DUS), multidetektorová CT angiografie (MDCTA), MR angiografie (MRA) a za zlatý standard je stále považovaná digitální subtrakční angiografie (DSA) (1, 2). Kromě rizik podání jodové kontrastní látky a expozice ionizujícímu záření jsou hlavními důvody snahy najít a využít méně invazivní či neinvazivní zobrazovací techniky k detekci RAS především invazivita katetrizační angiografie s možnými komplikacemi výkonu, nutnost přípravy a hospitalizace nemocného před vlastním vyšetřením a sledování jeho stavu po výkonu (9, 11). Je rovněž důležité si uvědomit, že DSA renálních tepen poskytu-

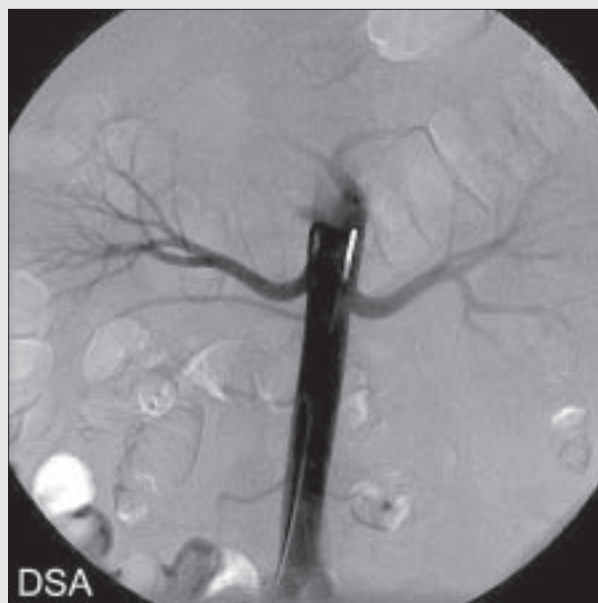


◀ Obr. 1 A



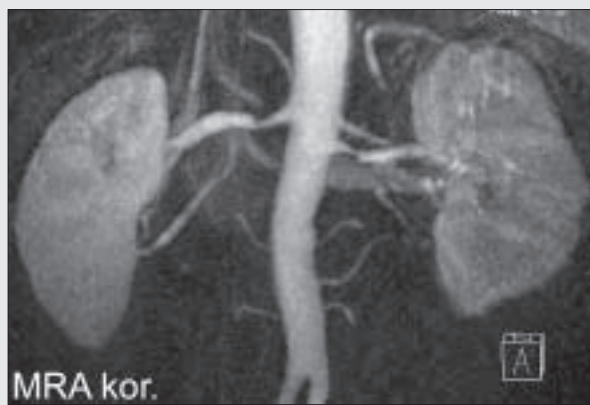
◀ Obr. 1 B

Obr. 1 C ▶

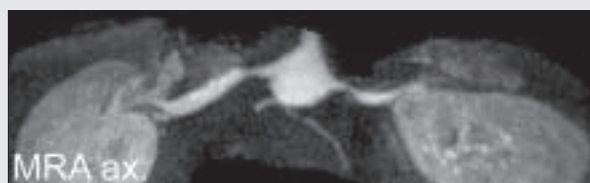


Obr. 1A–C. Na MRA i DSA se zobrazila vlevo jednoduchá, vpravo hlavní a dolní polární renální tepna. Všechny zobrazené renální tepny byly bez signifikantní stenózy, obě ledviny byly přiměřené velikosti, s homogenním symetrickým postkontrastním syčením.

Fig. 1A–C. Both MRA and DSA reveal single left-sided as well as main and lower accessory right-sided renal arteries without significant stenosis. Both kidneys show normal size and homogenous symmetric enhancement.



◀ Obr. 2 A



◀ Obr. 2 B

Obr. 2 C ▶



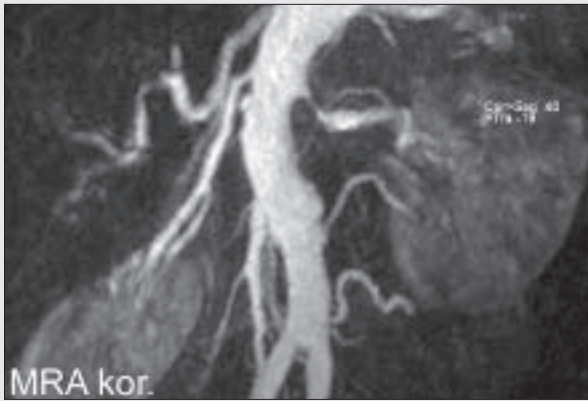
Obr. 2A–C. MRA i DSA prokázaly 70% postupnou koncentrickou stenózu pravé renální tepny s maximem do 15 mm od ostia s výraznou poststenotickou dilatací (tepna zde měla průměr až 8 mm). Vlevo se zobrazily celkem 3 renální tepny, hlavní střední renální tepna byla s koncentrickou stenózou přes 80% do 12 mm od ostia, horní a dolní polární tepny byly bez signifikantní stenózy.

Fig. 2A–C. Both MRA and DSA show concentric 70% right renal artery stenosis at 15 mm distal to ostium, with marked post-stenotic dilatation (up to 8 mm). Three renal arteries on left, the main artery showing 80% stenosis at 12 mm distal to ostium, polar arteries are without stenotic involvement.

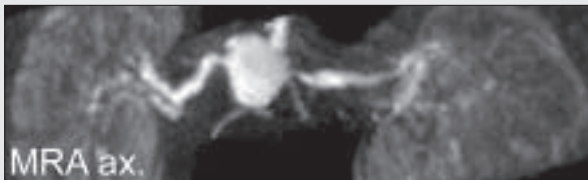
je sumační zobrazení prostorové struktury, navíc ostiální stenózy při nevhodně volené projekci mohou být překryty kontrastní náplní v aortě, a mohou tak uniknout pozornosti (6, 11). Problémem DUS je především nižší senzitivita a specifita udávaná mezi 80 a 90 % (8) a dále fakt, že i více než 10 % vyšetření je nedignostických (12). Senzitivita a specifita MDCTA je vysoká (přes 90 %) (2, 13), pomocí submilimetrové kolimace jsou zobrazitelné tepénky do průsvitu kolem 1 mm (14), nevýhodou je však radiační zátěž během vyšetření (2, 11), sklon k nadhodnocování stenóz

v místě hrubých kalcifikací (11, 13) a v neposlední řadě zatížení zpravidla již dysfunkčních ledvin nefrotoxickou kontrastní látkou (15, 16).

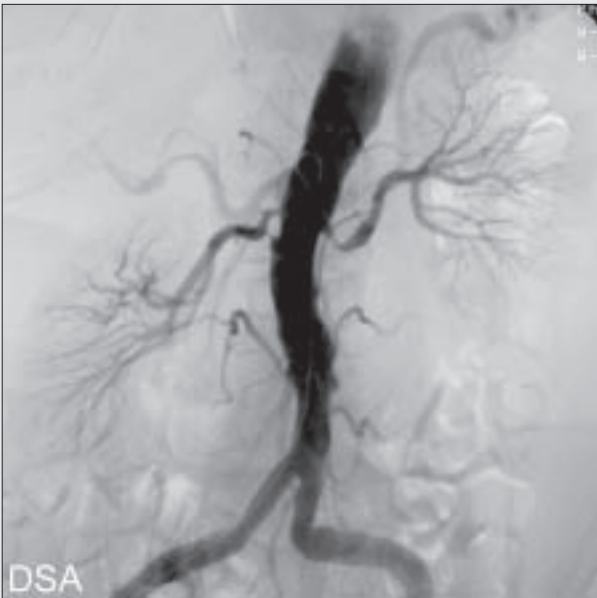
MRA je miniinvasivní metoda, kterou lze provést ambulantně, vykazuje minimální riziko jak nefrotoxicity, tak alergoidní reakce a nevystavuje nemocného ionizujícímu záření (11). Přes tyto nesporné výhody MRA je však nutno brát v úvahu i její jistá úskalí. Jedním z nich je vznik artefaktů. Kromě dechových a pulzačních pohybových artefaktů (11) a artefaktů ze ztráty signálu v místě turbulence (1) se může-



◀ Obr. 3 A



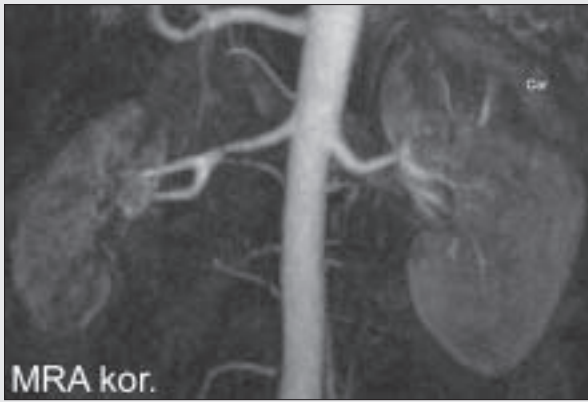
◀ Obr. 3 B



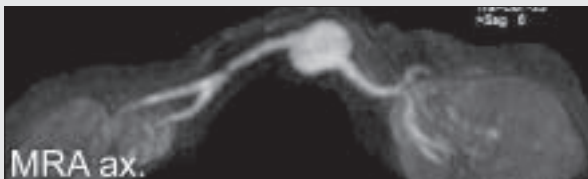
Obr. 3 C ▶

Obr. 3A–C. V proximálním úseku levé renální tepny byla prokázána 80% stenóza s poststenotickou dilatací v důsledku aterosklerotického postižení cévní stěny u 73leté pacientky. Vpravo při ostii byla zobrazena 50% stenóza. Pravá ledvina byla kaudálně dystopická a malrotovaná.

Fig. 3A–C. Proximal left renal artery with 80% atherosclerotic stenosis and post-stenotic dilatation in a 73-year-old female. Right kidney with caudal dystopia, malrotation, and 50% ostial stenosis.



◀ Obr. 4 A



◀ Obr. 4 B



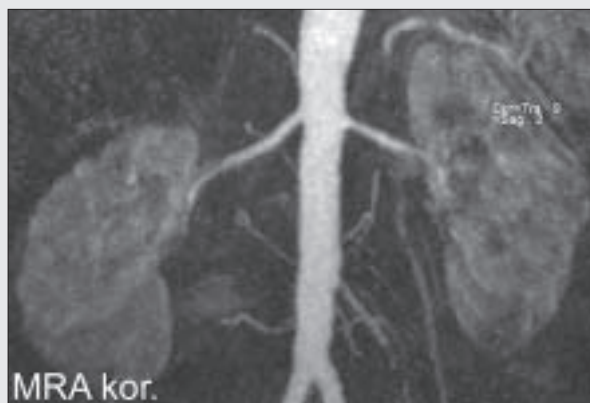
Obr. 4 C ▶

Obr. 4A–C. V distální polovině kmene pravé renální tepny byla zachycena na MRA i DSA koncentricky se zužující stenóza, která periferně vrcholila v krátkou, ale hemodynamicky významnou 70% stenózu. I vzhledem k věku pacientky (38 let) byl nález hodnocen jako fibromuskulární dysplazie. Pravá ledvina byla difúzně atrofická. Levá renální tepna byla bez zřejmé patologie.

Fig. 4A–C. Concentric distal right renal artery stenosis, yielding up to 70% at the periphery on both MRA and DSA. The involvement pattern and low age of the female patient (38 years) suggested fibromuscular dysplasia. Diffuse atrophy of the right kidney. Left renal artery without pathologic findings.

me setkat i s artefaktem z pohybu renálních tepen, způsobeným dodatečným pohybem bránice během apnoe a ovlivňujícím distální úseky renálních tepen. Redukován může být zkrácením celkové doby akvizice. Známým faktem je také sklon MRA k nadhodnocování, ale současně i podhodnocování stupně některých stenóz. Tato tendence je pozorována nejvíce u hraničně významných zúžení (40–60%), zatímco stenózy nad 80% a pod 20% vykazují mnohem větší shodu s nálezy na DSA (17). Tento jev má dvě hlavní příčiny: vinutý průběh renální tepny a excentrické umístění AS plátů, které

se vyskytují predilekčně na přední a zadní stěně tepny, a lumen tak získává oválný či nepravidelný tvar. Proto je důležité hodnotit stupeň stenózy vždy ve více rovinách, včetně roviny kolmé k podélné ose renální tepny, která je těmito jevy nejméně ovlivněna (17). Ačkoli prostorové rozlišení kontrastní MRA je stále nižší než v případě MDCTA (v průměru 0,6 × 0,6 × 1,0 mm), není mezi oběma metodami statisticky významný rozdíl ve schopnosti odhalit hemodynamicky významnou stenózu a senzitivity a specifity se ve většině studií pohybují nad



◀ Obr. 5 A



◀ Obr. 5 B

Obr. 5 C ▶

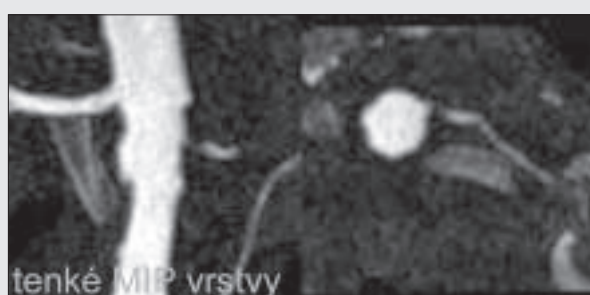


Obr. 5A–C. **Dle MRA nálezu byly obě renální tepny bez hemodynamicky významné stenózy.** DSA však diskrepantně prokázala hemodynamicky již významnou 60% ostiální stenózu levé renální tepny. Pravá renální tepna byla na DSA volně průchodná bez stenózy

Fig. 5A–C. **MRA showed no hemodynamically significant renal stenosis bilaterally.** However, DSA showed 60% stenosis of the proximal left renal artery. Right renal artery was patent.

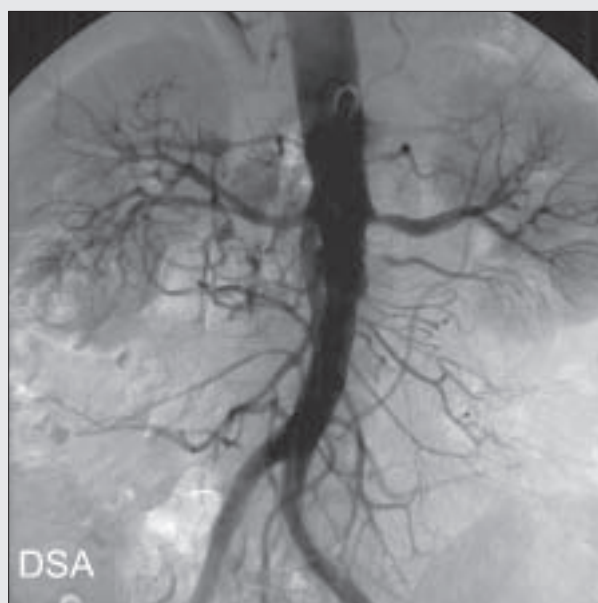


◀ Obr. 6 A



◀ Obr. 6 B

Obr. 6 C ▶



Obr. 6A–C. **Vpravo byla zachycena normálně průchodná solitární renální tepna.** Vlevo byly renální tepny zdvojené. Hlavní renální tepna vlevo hodnocena na MRA s 60% stenózou, na DSA s 50% stenózou. Dolní akcesorní renální tepna vlevo s hemodynamicky významnou stenózou na MRA (dobře patrnou pouze na cílené tenké MIP projekci) i na DSA. Zúžení akcesorní tepny vysvětluje i lokální atrofii dolního pólu levé ledviny.

Fig. 6A–C. **Patent single renal artery on right.** Two renal arteries on left, stenosis of the main artery assessed as 60% on MRA and 50% on DSA. Lower accessory left renal artery with hemodynamically significant stenosis on both MRA (seen on targeted thin MIP) and DSA, explaining lower pole atrophy of the left kidney.

90 % (2, 13). Při hodnocení stupně stenózy zkušenějšími radiology jsou diskrepance nálezů minimální, rozdíly ve výsledné senzitivitě a specifitě zpravidla nepřesahují 1 % (13). Nižší prostorové rozlišení může činit obtíže v detekci stenóz na akcesorních renálních tepnách a v distálních úsecích či větvích hlavních renálních tepen (5, 11). Nicméně některé studie dokumentují více než 90% senzitivitu i v detekci stenóz těchto drobných arterií (18, 19).

Dalším úkolem zobrazovací metody (MRA) je mimo stanovení vlastního stupně stenózy také odhadnutí její funkční významnosti, případně určení etiologie. Za signifikantní je obvykle považována stenóza nad 50–60 % (8). Důležité je však také zhodnotit opacifikační charakteristiky jednotlivých oblastí ledvinového parenchymu, velikost ledviny a tloušťku kortexu a tyto nálezy porovnat s druhou stranou (2). Díky stále nedostatečnému geometrickému rozlišení lze před-

pokládat nižší výtěžnost MRA v detekci FMD jako příčiny RAS, ačkoli některé studie vykazují úspěšný záchyt FMD pomocí MRA (19, 20).

Citlivost zobrazovací metody v diagnóze RAS je ovlivněna také stanovením kritérií pro výběr pacientů. V souboru by měli být zahrnuti pacienti s významnou suspekci na RAS. Klinické a laboratorní známky svědčící pro RAS zahrnují především náhle a nově vzniklou hypertenzi, která je zpravidla těžká a obtížně kontrolovatelná, případně renální insuficienci. Dále to mohou být známky AS postižení jiných orgánů, diabetes mellitus, proteinurie, vzestup hladiny kreatininu v séru během terapie ACE inhibitory, kardiální insuficience, eventuálně přítomnost šelestu v bedrech a nadbřišku (10). Zastoupení RAS ve sledovaném souboru by mělo přesahovat 20 %, některé studie uvádějí prevalenci až 70 % (2, 6). Vyšší prevalence onemocnění a vyšší zastoupení správně pozitivních nálezů zvyšuje konečnou hodnotu senzitivity (5, 6).

MRA nabízí pro zobrazení renálních tepen jak nativní techniky time-of-flight (TOF) a phase contrast (PC), tak především techniky s aplikací paramagnetické kontrastní látky (2). Nevýhodou nativní MRA (TOF a PC) je zejména dlouhá doba akvizice a vyšší náchylnost ke vzniku dechových artefaktů. Oproti kontrastní MRA vykazují také nižší senzitivitu (94 % vs. 97 %) a specifitu (85 % vs. 93 %) (5).

Pro kontrastní MRA má klíčový význam správné načasování akvizice obrazových dat do okamžiku průchodu bolusu kontrastní látky oblastí zájmu. Správného načasování vlastního vyšetření lze docílit buď podáním tzv. testovacího bolusu (1–2 ml kontrastní látky), nebo přímou detekcí změny intenzity signálu při průchodu kontrastní látky místem určené v reálném čase (bolus tracking, bolus chasing) (11). Pro optimální zobrazení by se maximální koncentrace kontrastní látky mělo dosáhnout v době náběru dat do středu k-prostoru, tedy v té fázi akvizice, která zásadním způsobem ovlivňuje výsledný kontrast MR obrazu. Vhodnější než konvenční sekvenční náběr dat se z tohoto pohledu jeví tzv. centrický náběr dat, kdy k-prostor vyplňujeme od centra směrem do jeho krajů (11).

Zásadním parametrem MRA sekvence ovlivňujícím výsledné prostorové rozlišení je velikost voxelu. Je známo, že ke kvantifikaci stupně stenózy s chybou nejvýše 10 % jsou potřeba alespoň 3 pixely napříč cévním lumenem (2). Vzhledem k tomu, že průměr hlavní renální tepny se pohybuje kolem 5–6 mm a průměr akcesorní tepny bývá často zřetelně menší, měla by se prostorová rozlišovací schopnost pohybovat kolem $1,0 \times 1,0 \times 1,0$ mm. Velikost voxelu se v současných

studiích pohybuje v rozmezí $0,8\text{--}1,5 \times 0,8\text{--}1,5 \times 0,9\text{--}2,0$ mm (2).

Paralelní akviziční techniky jsou velmi vhodným nástrojem pro zvýšení geometrického rozlišení. Současné high-field MR systémy s akceleračním faktorem 2–3 umožňují výrazně zlepšit prostorové rozlišení v rámci daného akvizičního času, vymezeného délkou apnoe a pohybujícího se v rozmezí 15 až 20 s (2, 17). Využití techniky GRAPPA při paralelním zobrazování navíc redukuje ve srovnání s technikami založenými na tzv. „sensitivity encoding“ (SENSE) artefakty z chybného prostorového dekodování, tzv. aliasing (21, 22).

S ohledem na výše uvedené aspekty nabízí dnes MRA v detekci RAS senzitivitu i specifitu přesahující 90 %, což potvrzují výsledky naše i výsledky recentních studií jiných autorů (2, 13). S těmito údaji kontrastuje nízká výtěžnost MRA v diagnóze RAS, tak jak byla v roce 2004 publikována v prospektivní multicentrické studii šesti holandských center (senzitivita 62 % a specifita 84 %) (6). Toto pozorování má několik možných vysvětlení. Hlavní příčinou bylo s velkou pravděpodobností právě nedostatečné geometrické rozlišení (velikost voxelu v rozmezí $3,1\text{--}5,9$ mm³). Významnou roli jistě sehrála i relativně nízká prevalence RAS (20 %) v souboru vyšetřených pacientů a vysoké zastoupení nemocných s FMD (38 %). V této studii byly také hodnoceny všechny přítomné renální tepny bez rozdílů, tedy hlavní tepny společně s akcesorními, zatímco ostatní studie interpretovaly záchyt akcesorních renálních tepen samostatně anebo se jimi nezabývaly vůbec (2, 6).

ZÁVĚR

Techniky kontrastní MRA s vysokým geometrickým rozlišením poskytují dostatečnou senzitivitu a specifitu v diagnostice hemodynamicky významné stenózy renálních tepen. MRA je vzhledem k minimální invazivitě a minimální nefrotoxicitě vhodnou metodou pro screening renovaskulární hypertenzní nemoci u vybrané populace. DSA by v současnosti měla být vyhrazena pro cílené terapeutické výkony u nemocných s prokázanou stenózou renální tepny. Lze předpokládat, že s dalším zlepšením prostorového rozlišení (pokrokem v MR technologii nebo např. s možností použití intravaskulárních „blood pool“ kontrastních látek) se přesnost při kvantifikaci nálezů na kontrastní MRA bude dále zlepšovat.

LITERATURA

1. Carman TL, Olin JW. Diagnosis of renal artery stenosis: What is the optimal diagnostic test? *Curr Interv Cardiol Rep* 2000; 2(2): 111–118.
2. Leiner T, de Haan MW, Nelemans PJ, van Engelshoven JMA, Vasbinder GBC. Contemporary imaging techniques for the diagnosis of renal artery stenosis. *Eur Radiol* 2005; 15(11): 2219–2229.
3. Krajina A, Hlava A. Renovaskulární hypertenze. In Krajina A, Hlava A. Angiografie. Hradec Králové: Nucleus 1999; 371–386.
4. Eliáš P, Žižka J. Vyšetření tepen a žil ledviny. In Eliáš P, Žižka J. Dopplerovská ultrasonografie. Hradec Králové: Nucleus 1998; 152–167.
5. Tan KT, van Beek EJ, Brown PW, van Delden OM, Tijssen J, Ramsay LE. Magnetic resonance angiography for the diagnosis of renal artery stenosis: a meta-analysis. *Clin Radiol* 2002; 57(7): 617–624.
6. Vasbinder GBC, Nelemans PJ, Kessels AGH, Kroon AA, Maki JH, Leiner T, Beek FJA, Korst MBJM, Flobbe K, de Haan MW, van Zwam WH, Postma CT, Hunink MGM, de Leeuw PW, van Engelshoven JMA. Accuracy of computed tomographic angiography and magnetic resonance angiography for diagnosing renal artery stenosis. *Ann Intern Med* 2004; 141(9): 674–682.
7. Valenta J. Renovaskulární hypertenze. In Zeman M, et al. Speciální chirurgie, 2. vyd. Praha: Galén 2004; 374.
8. Vasbinder GBC, Nelemans PJ, Kessels AGH, Kroon AA, de Leeuw PW, van Engelshoven JMA. Diagnostic tests for renal artery stenosis in patients suspected of having renovascular hypertension.

- sion: a meta-analysis. *Ann Intern Med* 2001; 135(6): 401–411.
9. **Krajina A, Peregrin JH.** Angioplastika ledvinných tepen. In Krajina A, Peregrin JH, et al. *Intervenční radiologie – Miniinvasivní terapie*, 1. vyd. Hradec Králové: Olga Čermáková 2005; 167–178.
 10. **Žabka J.** Ledviny a hypertenze. In Klenner P, et al. *Vnitřní lékařství*, 2. vyd. Praha: Galén 2001; 617–620.
 11. **Mittal TK, Evans C, Perkins T, Wood AM.** Renal arteriography using gadolinium enhanced 3D MR angiography – clinical experience with the technique, its limitations and pitfalls. *Br J Radiol* 2001; 74(882): 495–502.
 12. **Radermacher J, Chavan A, Schaffer J, Stoess B, Vitzthum A, Kliem V, Radermacher J, Bleck J, Gebel MJ, Galanski M, Brunkhorst R.** Detection of significant renal artery stenosis with color Doppler sonography: combining extrarenal and intrarenal approaches to minimize technical failure. *Clin Nephrol* 2000; 53(5): 333–343.
 13. **Willmann JK, Wildermuth S, Pfammatter T, Roos JE, Seifert B, Hilfiker PR, Marincek B, Weishaupt D.** Aortoiliac and renal arteries: prospective intraindividual comparison of contrast-enhanced three-dimensional MR angiography and multi-detector row CT angiography. *Radiology* 2003; 226(3): 798–811.
 14. **Ferda J.** Abdominální tepny – anatomie. In Ferda J. *CT angiografie*, 1. vyd. Praha: Galén 2004; 254–257.
 15. **Garcia-Ruiz C, Martinez-Vea A, Semper T, Sauri A, Olona M, Peralta C, Oliver A.** Low risk of contrast nephropathy in high-risk patients undergoing spiral computed tomography angiography with the contrast medium iopromide and prophylactic oral hydration. *Clin Nephrol* 2004; 61(3): 170–176.
 16. **Lufft V, Hoogestraat-Lufft L, Fels LM, Egbeyong-Baiye D, Tusch G, Galanski M, Olbricht CJ.** Contrast media nephropathy: intravenous CT angiography versus intraarterial digital subtraction angiography in renal artery stenosis: a prospective randomized trial. *Am J Kidney Dis* 2002; 40(2): 236–242.
 17. **Schoenberg SO, Rieger J, Weber CH, Michaely HJ, Wagnershauser T, Ittrich C, Dietrich O, Reiser MF.** High-spatial-resolution MR angiography of renal arteries with integrated parallel acquisitions: comparison with digital subtraction angiography and US. *Radiology* 2005; 235(2): 687–698.
 18. **Bakker J, Beek FJA, Beutler JJ, Hené RJ, de Kort GAP, de Lange EE, Moons KGM, Mali WPTM.** Renal artery stenosis and accessory renal arteries: accuracy of detection and visualization with gadolinium-enhanced breath-hold MR angiography. *Radiology* 1998; 207(2): 497–504.
 19. **Shetty AN, Bis KG, Kirsch M, Weintraub J, Laub G.** Contrast-enhanced breath-hold three-dimensional magnetic resonance angiography in the evaluation of renal arteries: optimization of technique and pitfalls. *J Magn Reson Imaging* 2000; 12(6): 912–923.
 20. **Fain SB, King BF, Breen JF, Kruger DG, Riederer SJ.** High-spatial-resolution contrast-enhanced MR angiography of the renal arteries: a prospective comparison with digital subtraction angiography. *Radiology* 2001; 218(2): 481–490.
 21. **Griswold MA, Kannengiesser S, Heidemann RM, Wang J, Jakob PM.** Field-of-view limitations in parallel imaging. *Magn Reson Med* 2004; 52(5): 1118–1126.
 22. **Blaimer M, Breuer FA, Mueller MF, Heidemann RM, Griswold MA, Jakob PM.** SMASH, SENSE, PILS, GRAPPA: how to choose the optimal method. *Top Magn Reson Imaging* 2004; 15(4): 223–236.