

# Využití CT angiografie a magnetické rezonance v kardiologii\*

Michael Aschermann

II. interní klinika kardiologie a angiologie, Všeobecná fakultní nemocnice a 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Praha, Česká republika

Aschermann M (II. interní klinika kardiologie a angiologie, Všeobecná fakultní nemocnice a 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Praha, Česká republika). **Využití CT angiografie a magnetické rezonance v kardiologii.** *Cor Vasa* 2008;50(12):473–479.

CT angiografie a magnetická rezonance získávají stále větší význam v diagnostice kardiovaskulárních onemocnění. V článku jsou shrnuty základní poznatky o současném stavu vývoje technologií výpočetní tomografie a magnetické rezonance, dále jsou diskutovány možnosti indikací těchto vyšetřovacích metod v klinické kardiologii. Je také uveden souhrn poznatků o možném radiačním riziku vyšetření CT angiografie i magnetické rezonance.

**Klíčová slova:** Výpočetní tomografie – Angiografie – Magnetická rezonance – Indikace

Aschermann M (Department of Medicine/Cardiology and Angiology II, General University Hospital and Charles University School of Medicine 1, Prague, Czech Republic). **Use of CT angiography and magnetic resonance imaging in cardiology.** *Cor Vasa* 2008;50(12):473–479.

CT angiography and magnetic resonance imaging play an increasing role in the diagnosis of cardiovascular disease. The paper summarizes main concepts regarding the current status of development of computed tomography and magnetic resonance imaging technology; it also discusses the potential for indicating these techniques of examination in clinical cardiology. A summary of concepts regarding the potential risk of radiation associated with CT angiography and magnetic resonance imaging is included.

**Key words:** Computed tomography – Angiography – Magnetic resonance imaging – Indications

**Adresa:** prof. MUDr. Michael Aschermann, DrSc., II. interní klinika kardiologie a angiologie, VFN a 1. LF UK, U nemocnice 2, 128 00 Praha 2, Česká republika, e-mail: mascher@vfn.cz

Neinvasivní vyšetření srdce a věnčitých tepen doznalo v posledním desetiletí velkého pokroku. Echokardiografie, jednofotonová emisní tomografie (SPECT), pozitronová emisní tomografie (PET), CT angiografie (CTA) a magnetická rezonance (MR) poskytují velmi cenné informace o anatomii věnčitých tepen, morfologii srdce, funkčním stavu myokardu i jeho perfuzi, a mají proto zásadní význam v diagnostice srdečních onemocnění. V oblasti klinické aplikace výpočetní tomografie (CT) v kardiologii byly ve vývoji zásadní dva momenty: prvním byl vývoj spirálního CT, kdy dochází ke sběru velkého množství údajů z vyšetřované oblasti při posunu stolu s nemocným v prostoru otáčející se „rentgenky“. Druhým momentem pak byla aplikace nové zobrazovací metody – CT angiografie, umožňující neinvasivní angiografické vyšetření cévních struktur různých orgánů – nejprve mozku, později řady dalších. V současné době je v popředí

zájmu z hlediska výzkumu i klinických aplikací především aplikace multidetektorových soustav výpočetní tomografie (MDCT).

Podobně jako CT se velmi rychle rozvíjela technologie magnetické rezonance, obě metody postupně doznaly také velké rozšíření do klinické praxe v zahraničí, bohužel zatím ne v České republice. Příčinou malého rozšíření přístrojového vybavení u nás jsou tradičně finanční nároky, které CT a MR vyžadují; s nadějí doufáme, že získáme očekávané prostředky z fondů Evropské unie, které mají být do řady oborů v blízké době přidělovány. V následujícím textu je souhrn současných poznatků z oblasti CT a MR z pohledu kardiologa, který vychází jednak ze stále čtenějších článků věnovaných využití CT a MR v kardiologii,<sup>(1,2)</sup> jednak z prvních vlastních praktických zkušeností. Čtenáře upozorňujeme na soubor článků o této problematice v *Kardio fóru* 2008.<sup>(3-5)</sup>

\*Tato práce byla podpořena Výzkumným záměrem Univerzity Karlovy v Praze č. MSM 0021620817, uděleným Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

## CT ANGIOGRAFIE SRDCE A VĚNČITÝCH TEPEN

### CT kalciové skóre

Z hlediska historického byla výpočetní tomografie používána ještě před zavedením CTA ke stanovení kalciového skóre – jedná se o výpočet tzv. Agatstonova skóre, shrnující zobrazení kalcia, které se vyskytuje v povodí koronárních tepen. Hodnoty tohoto skóre jsou: do 10 představují riziko malé, hodnoty mezi 11–100 riziko střední, 101–400 riziko vysoké a nad 401 riziko velmi vysoké. Při interpretaci uvedených hodnot skóre je nutné přihlížet k řadě klinických informací – skóre ovlivňuje věk nemocného, metabolická onemocnění, např. diabetes mellitus a hyperparathyreóza (primární i sekundární). Toto skóre se dnes používá jednak jako ukazatel přítomnosti aterosklerózy, jednak pro stratifikaci rizika nemocných s ischemickou chorobou srdeční (ICHS). Bylo prokázáno, že u nemocných s Framinghamským skóre (střední riziko) je možné při doplnění o kalciové skóre určit riziko nemocných mnohem přesněji. V jedné ze studií, které se této problematice věnovaly, prokázali autoři u nemocných s Framinghamským rizikem 10–15% a kalciovým skóre nad 300 výskyt infarktu myokardu či náhlé smrti v období sedmi let sledování u 19,5% sledované populace nemocných. U nemocných se stejným Framinghamským skóre, ale s nízkým kalciovým skóre, bylo uvedené riziko pouze 4,2 %.<sup>(5)</sup>

### Technika CTA

Velmi podrobné údaje o technice CTA jsou uvedeny v českém literatuře v monografii Ferdy z roku 2004.<sup>(6)</sup> Pro rozšíření angiografie získané výpočetní tomografií (CTA) bylo zásadní postupné zlepšení přístrojového vybavení – kvalitní zobrazení přineslo až využití multi-detektorových akvizitních systémů výpočetní tomografie (MDCT). V současné době jsou to nejčastěji přístroje se 64 řadami detektorů, k dispozici jsou však již i CT se 128 a 320 řadami detektorů; jsou i první zprávy o testování 512řadých přístrojů. Zásadním pokrokem posledních roků je pak využití výpočetní tomografie se dvěma zdroji a se dvěma detektory, tzv. dual source CT (DSCT). V této konfiguraci jsou používány dvě rentgenové lampy, kolmo na sebe umístěné, které umožňují při rekonstrukci dat kombinaci záznamů ze dvou projekcí, což výrazně zlepšuje časové rozlišení získávaných dat. V praxi to znamená, že k rekonstrukci obrazu stačí již jeden srdeční cyklus.<sup>(7)</sup> Uvedený technologický vývoj spolu s využitím nových softwarů přinesl významné zlepšení především v oblasti získávání dat, jejich časovém i prostorovém rozlišení, což umožňuje kvalitní zobrazování všech struktur jak staticky, tak dynamicky a bez pohybových artefaktů. Pro zobrazování srdce a koronárních tepen je zásadní synchronizace dat s EKG, která může být retrospektivní, ale nověji i prospektivní,<sup>(8,9)</sup> pak jsou získávány nejen obrázky hlavních kmenů koronárních tepen, ale také jejich sekundárních větví, velmi kvalitní je zobrazování aortokoronárních bypassů.

### Metodika vyšetření

Ke kvalitnímu zobrazení koronárních tepen a dalších cévních struktur (např. arteria pulmonalis při suspektní plicní embolii) je při CTA srdce nezbytná intravenózní aplikace standardní kontrastní látky. Ta je

aplikována obvykle v objemu 1,25 ml/kg hmotnosti (u 70 kg nemocného tedy přibližně 90 ml), vhodné je zavedení dostatečně velké kanyly pro kvalitní a nekomplikovanou aplikaci kontrastní látky. Pro vlastní snímkování je nutné správné načasování tak, aby data byla získána v době optimálního zobrazení cíleného místa. Např. při snímkování věnčitých tepen musí nemocný zadržet dech na dobu 8–16 sekund, u aortokoronárních bypassů pak 12–20 sekund. Doba zadržení dechu se významně zkracuje při zvýšení počtu řad detektorů; uvádí se, že nejnovější přístroje vyžadují zadržení dechu jen velmi krátké, až žádné. Při využití nejnovějších technologií již také odpadla nutnost farmakologického zpomalování srdeční akce při vyšetření (dříve prováděno betablokátory), nevádí ani případné arytmie.

Důležitou součástí zpracování vyšetření CTA srdce a koronárních tepen je tzv. post-processing. Pro hodnocení objemů a funkce srdečních komor jsou využívány speciální softwary. Při použití přístrojů se 64 řadami detektorů jsou dobře zobrazeny – hlavní kmen levé koronární tepny, ramus interventricularis anterior, ramus circumflexus, dále větve diagonální a marginální, někdy i větve septální, z pravé věnčité tepny hlavní kmen, ventrikulární větve, v periférii pak jak ramus posterolateralis dexter, tak ramus interventricularis posterior. Používá se celá řada projekcí, ze kterých je možné provést trojrozměrnou rekonstrukci, atraktivní je především barevné zobrazení (obrázek 1).

### INDIKACE CTA KORONÁRNÍCH TEPEN

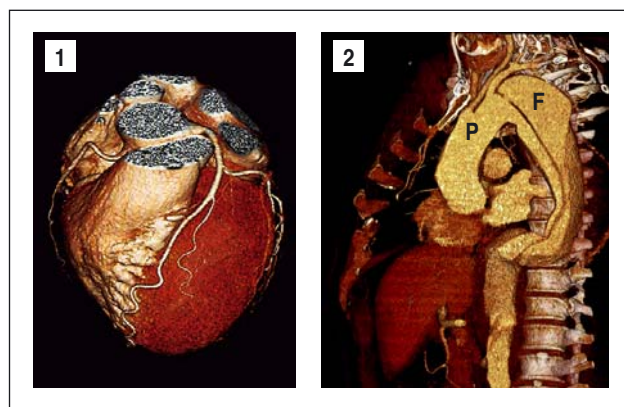
V současné době je CTA koronárních tepen diagnostickou metodou volby u několika skupin nemocných.

#### Koronární anomálie

Vrozené koronární anomálie představují optimální indikaci pro CTA, která přesně zobrazí například anomální odstupy koronárních tepen nebo vrozené aneurysma koronárních tepen.

#### Chronické formy ICHS

U této skupiny nemocných jsou dvě podskupiny optimálních indikací CTA. První jsou nemocní s bolestí na



Obr. 1 CT angiografie – trojrozměrná rekonstrukce koronárních tepen s normálním nálezem

Obr. 2 CT angiografie, obraz rozsáhlé disekce aorty  
P – pravé lumen, F – falešné lumen

hrudníku a současnou střední pravděpodobností koronární nemoci, u nichž je nejednoznačné EKG nebo nelze provést zátěžový test, případně je výsledek zátěžového testu nehodnotitelný nebo nejednoznačný. Druhou skupinu tvoří nemocní s intermitentními bolestmi na hrudníku a současně malou pravděpodobností koronární nemoci, u kterých je častá opakovaná hospitalizace a psychická labilita (neurotické obtíže).

Kvalita získaných obrazů se zásadním způsobem zlepšila u přístrojů se 64 řadami detektorů, analýza jednotlivých segmentů vykazuje senzitivitu 92–99% a specifitu 86–97 %, pozitivní prediktivní hodnota je 83–95% (u nemocných s vyšší pravděpodobností přítomnosti významné stenózy). Negativní prediktivní hodnota může dosahovat až 99 %; lze tedy říci, že CT koronarografie vylučuje velmi přesně významné koronární stenózy.<sup>(10)</sup>

### Akutní formy ICHS

Využití u akutních stavů bolestí na hrudníku je relativně menší, protože nemocní s prokázanou akutní ischemií jsou dnes jednoznačně indikováni k intervenčnímu řešení. Výjimku tvoří nemocní s akutní bolestí na hrudníku se střední pravděpodobností koronárního onemocnění, se současně negativním EKG a s negativními kardio-specifickými markery, u nichž může být přítomnost významné koronární stenózy vyloučena neinvazivně metodou CTA.

American Heart Association a American College of Cardiology publikovaly v roce 2008 společné „Scientific Statement“ o neinvazivním zobrazování koronárních tepen s využitím MDCT a MR.<sup>(11)</sup> V souhlase s předchozími doporučeními<sup>(12)</sup> je v tomto dokumentu MDCT indikováno u nemocných s anginou pectoris (AP) II.–III. třídy podle kanadské klasifikace (CCS), nereagující na léčbu farmakologickou, a také u nemocných jakékoli třídy, u kterých existuje na základě neinvazivních funkčních vyšetření vysoké riziko vzniku infarktu myokardu (IM) a náhlé smrti. Druhou skupinu pak tvoří nemocní s nízkou pravděpodobností stenózující koronární aterosklerózy při nespecifických bolestech na hrudníku, pro něž byli i opakovaně hospitalizováni. Je předpoklad, že MDCT u této skupiny nemocných může přítomnost významných lézí vyloučit bez nutnosti provedení koronarografického vyšetření.

Poslední skupinu pak představují nemocní s nevysvětlenou symptomatickou dysfunkcí levé komory (LK) srdeční, případně s projevy srdečního selhání, kde MDCT odliší ischemický a neischemický původ dysfunkce LK. Uplatní se také v diagnostice aneurysmatu levé komory srdeční, trombů a nádorů v komorách nebo v síních, ale v těchto případech je v diagnostice podstatně přínosnější MR.

### Nemocní po revaskularizačních operacích

U nemocných po revaskularizačních operacích se dnes CT angiografie k vyšetření aortokoronárních nebo arteriálních bypassů (a. mammaria) používá již běžně.

### Další indikace CTA

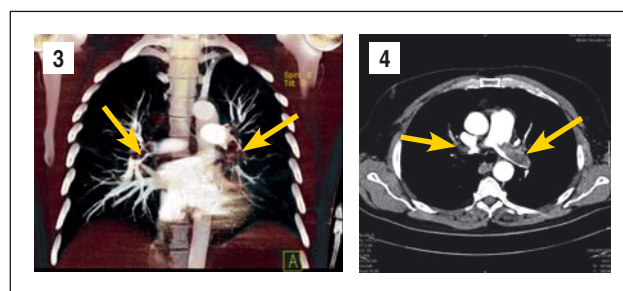
Kromě vyšetření nemocných s koronární nemocí se CTA využívá u dalších onemocnění srdce i velkých cév. Velmi důležité místo má CTA v diagnostice aneurysmat a disekcí aorty a u plicní embolie. Metodou

CTA je získáváno zobrazení celé aorty, pro 3D rekonstrukci obrazů je užíváno několik projekcí – v oblasti hrudní aorty jsou to projekce předozadní, levá přední šikmá, obě boční projekce a kraniální axiální projekce (pro tepny odstupující z oblouku aorty). Pravá aneurysmata aorty, jejichž stěnu tvoří všechny vrstvy stěny aorty, jsou diagnostikována velmi přesně včetně často v nich přítomné trombózy. U disekce aorty je CTA suverénní diagnostickou metodou (obrázek 2), která je dále využívána po operacích aorty a po implantacích aortálních stentgraftů. Také v diagnostice akutní plicní embolie je dnes CTA a. pulmonalis metodou první volby (obrázky 3 a 4).

Menší využití má dosud CTA v diagnostice vrozených srdečních vad u dospělých, nejvíce je zastoupena u koarktace aorty a otevřené tepenné dučeje, defektu septa síní a komor a u anomálního návratu plicních žil. U získaných srdečních vad se CTA používá méně často, především u aortální chlopně; hlavní indikací je přesné zhodnocení rozměrů chlopně před chirurgickou náhradou. Významné místo má CT v diagnostice onemocnění perikardu, kde je suverénní v diagnostice kalcifikací a patologických útvarů, především nádorů a cyst. U onemocnění myokardu je v diagnostice kardiomyopatií suverénní diagnostickou metodou echokardiografie, CTA má přínos jen doplňující; je indikována u echokardiograficky špatně vyšetřitelných nemocných, více je využívána magnetická rezonance.<sup>(13)</sup>

### Rozšíření CTA v klinické praxi

V praxi je jistě optimální, když jsou neinvazivní a invazivní metody dostupné na jednom pracovišti – při diagnostice významného nálezu může následovat potřebná intervence katetizační, případně chirurgická. Je jistě otázkou, proč je rozšíření této metody dosud tak malé.<sup>(14)</sup> V České republice k tomu jistě přispívá relativně vysoká cena samotných přístrojů, ale pokud je tento stav hodnocen v ekonomicky lépe fungujících zemích, i tam se stále výrazněji využívá diagnostika invazivní. Zde pak platí, že se na menším využití CT koronární angiografie podílí i to, že důkazy „evidence-based medicine“ o využití této metody jsou stále malé, chybějí randomizované studie. Přispívá k tomu nesmírně rychlý vývoj těchto technologií – přínosy metody nejsou na vědecké úrovni ještě potvrzeny a k dispozici jsou již technologie významně vyšší kvality.<sup>(15,16)</sup>



Obr. 3 Barevná rekonstrukce CT angiografie rozsáhlých embolií do obou větví a. pulmonalis (šipky)

Obr. 4 CT angiografie a. pulmonalis s nálezem velkých embolů obou větví a. pulmonalis (šipky)



## **Radiační zátěž při CT vyšetření srdce a koronárních tepen**

Velmi diskutovaná je také otázka radiační zátěže, neboť indikace CT koronární angiografie budou jistě stále častější. Přístroje se 64 řadami detektorů (MDCT, také „multislice“ CT – MSCT) umožňují při jednom vyšetření získat přibližně 300 obrázků („řezů“) 0,5–1,0 mm silných, dovolují dále barevnou a trojrozměrnou rekonstrukci. To vše bez nutnosti hospitalizace, bez katetrizace i bez nutnosti podpisu informovaného souhlasu nemocného o riziku akutního infarktu myokardu, úmrtí a dalších komplikací. Jaké radiační riziko tedy CT koronární angiografie přináší a jaké další konsekvence srovnání s vyšetřením invazivním musíme brát v úvahu? Vlastní radiační zátěž při MSCT je přibližně třikrát větší než při konvenční koronarografii, účinná dávka u MSCT je 14 mSv, resp. u SKG 6 mSv (miliSievert).<sup>(17)</sup> Životní riziko vzniku fatálního nádorového onemocnění u populace průměrného věku je u těchto dávek odhadováno na 0,07 %, resp. 0,02 %. U invazivního přístupu je však dále nutno počítat s dalšími riziky, která tato vyšetření obecně provázejí; ta jsou (mimo rizika podávání kontrastní látky) uváděna v počtu 0,11 %. Součet rizika radiačního a neradiačního je pak 0,13 %, což je téměř dvakrát více než u neinvazivní MSCT. Zanzonico a spol. publikovali v roce 2006 zajímavou práci, ve které vyjádřili prospěšnost rozšíření MSCT jako diagnostické metody první volby u populace nemocných v USA. Jejich argumentace byla následující: pokud by bylo screeningové MSCT vyšetření koronárních tepen provedeno u všech osob ve věku 50–55 let, jednalo by se o populaci 18 800 000 osob. Předpokládaný počet osob, u kterých by po vyšetření došlo k rozvoji fatálního nádorového onemocnění, by byl 14 900, při opakování vyšetření každých dalších pět let do 70 roků by pak celkové číslo nemocných s nádorovým onemocněním dosáhl 42 900. Naproti tomu, průměrný věk nemocných s prvním IM v USA je 65,8 roků u mužů a 70,4 roků u žen a 94 % nemocných má v době vzniku IM alespoň jednu > 75% stenózu jedné věnčité tepny. Preventivní MSCT by významnou stenózu odhalilo ještě před IM a pokud by toto vyšetření vedlo k prevenci byl jen 10 % z 355 000 náhlých srdečních smrtí (ročně tedy 35 500!), byl by přínos MSCT jistě nepochybný. Autoři také připomínají, že akutní IM vzniká často u stenóz méně významných,<sup>(18)</sup> které naopak nemusí CTA koronárních tepen přesně diagnostikovat. Obecně tedy platí, že riziko radiační zátěže u MSCT jistě existuje, význam by v praxi mohlo mít pouze tehdy, kdyby toto vyšetření bylo indikováno jednak obecně nesprávně, především však při indikacích opakovaných vyšetření.

## **Další očekávaný vývoj CT v kardiologii**

Kromě již používané „dual source“ technologie budou brzy k dispozici přístroje s rychlejšími rotačními časy a s větším počtem řad detektorů. Již dnes je v klinické praxi v použití 320 řad detektorů a testovány jsou přístroje s 512 řadami detektorů. Tento technický vývoj významně zlepšil kvalitu získaných obrazů; u tzv. hybridních kamer pak umožnil současně vyšetření MDCT koronárních tepen a PET myokardu, který je těmito tepnami perfundován. Jiný typ hybridních

kamer spojuje technologii MDCT a jednofotonovou výpočetní tomografii (SPECT).

## **MAGNETICKÁ REZONANCE**

### **Technické údaje**

Současné MR přístroje se silným magnetickým polem (1,5–3,0 Tesla [T]), spolu s velmi rychlými gradientními cívkami a s příslušným hardwarovým a softwarovým vybavením, poskytují během 30–45 minut široké spektrum informací o anatomii srdce v pohybu, jeho funkci, perfuzi myokardu i jeho viability, charakteristice tkání, průtoků, anatomii a funkci chlopní i koronární a vaskulární angiografii.<sup>(19)</sup> Popis samotné technologie je nad rámec tohoto sdělení, zde je možné pouze uvést, že MR využívá elektromagnetické energie se silou pole alespoň 1,5 T, dnes již také 3,0 T. Vyžaduje rychlý gradientní systém – minimálně 30 mT/m (minitesla/metr) s rychlým vzestupem gradientu – minimálně 100 mT/sekundu. Záznam obrázků je vázán na elektrokardiogram, po získání orientačních obrázků (scout images) se provádí tzv. pre-processing, kdy je možné vybrat pro získávání obrázků jakoukoli rovinu, bez nutnosti pohybu nemocného. Používají se standardní projekce podobné echokardiografii, tedy dvoudutinové, čtyřdutinové, v krátké ose, zaměřené na výtokové trakty levé a pravé komory srdeční a podobně. Doba získávání obrázků je delší než u CT (delší tzv. akviziční čas), kvalita zobrazení je významně ovlivňována pohybem. Zdroje pohybu u srdce jsou obecně dva – tzv. vnitřní zdroj pohybu představuje samotná kontrakce a relaxace srdce, zevním zdrojem pohybu jsou pak především dechové exkurze – po dobu akvizice záznamu je tedy nutné zadržení dechu. Je třeba konstatovat, že v současné době se v praxi již používají přístroje, které dýchání umožňují – tzv. „free breathing coronary magnetic resonance angiography“ (MRA). Sběr obrázků zde probíhá pouze v diastole, nevýhodou je u této metody MR delší doba akvizice dat. Na rozdíl od CT je vyšetření MR angiografie bez expozice ionizačnímu záření, nepoužívá se aplikace jodové kontrastní látky a může se současně kombinovat s jinými zobrazovacími technikami. Prostorové rozlišení MR při zobrazování koronárních tepen je 0,7–0,8 mm, běžná angiografie má rozlišení až 0,3 mm.<sup>(20)</sup>

### **Magnetická rezonance v hodnocení anatomie a funkce srdce**

Magnetická rezonance je metoda, která umožňuje velmi přesné vyhodnocení velikosti obou srdečních komor, jejich hmotnosti i jejich systolické a diastolické funkce. Toto hodnocení se provádí z 30–50 snímků, získaných ve dvou projekcích z jednoho srdečního cyklu (snímky synchronizovány s EKG). Modifikovanou Simpsonovou metodou se provádí kvantitativní hodnocení jak objemů obou komor, tak hmoty myokardu, což je u MR možné i pro jinak obtížněji hodnotitelnou pravou komoru srdeční. Pro hodnocení regionální funkce komorového myokardu se používá model rozdělovací levou komoru na 17 segmentů, moderní zpracování umožňuje kvantitativní hodnocení nejen pohybu stěny, ale také deformaci stěny komory včetně sledování jejích změn (strain, strain-rate). Dále lze hodnotit viabilitu a perfuzi myokardu,

zlepšuje se také dosud obtížné zobrazování koronárních tepen.

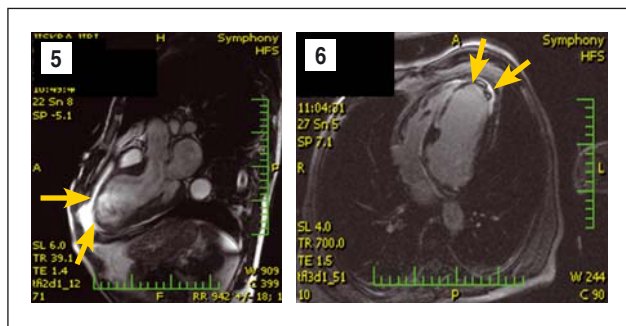
Platí proto, že MR je možné prakticky používat k zobrazování podobně jako echokardiografii u řady klinických indikací, na rozdíl od echokardiografie však vyžaduje jednak přesun nemocného na specializované pracoviště, dále určitý čas v prostorech, kde 5–10% nemocných trpí klaustrofobií. Pro některé situace (např. diagnostiku patologických útvarů) je ovšem postavení MR naprosto unikátní a s její větší dostupností dojde jistě i k rozšíření indikací k tomuto vyšetření.

## VYUŽITÍ MAGNETICKÉ REZONANCE U JEDNOTLIVÝCH TYPŮ ONEMOCNĚNÍ

### Ischemická choroba srdeční

Z možností hodnocení anatomických poměrů a funkce komor přináší MR u ICHS informace o síle stěny levé komory srdeční (hypertrofie, dilatace), o změnách kinetiky (hypokineze, akineze, dyskineze), o přítomnosti trombů v srdečních dutinách, případně o narušení některých struktur (ruptury papilárních svalů, mezikomorové přepážky). Kromě toho magnetická rezonance informuje také o perfuzi a viabilitě myokardu.

Hodnocení perfuze má při srovnání s radionuklidovými metodami několik výhod: lepší prostorové rozlišení, není radiační zátěž, nedochází k překrývání s jinými orgány, zobrazování není ovlivňováno obezitou nemocného. Většina způsobů využití MR v hodnocení perfuze je založena na změnách intenzity signálu (SI) během prvního průtoku kontrastní látky podané i. v.<sup>(21)</sup> Exogenní kontrastní látky, které jsou používány, se rozdělují podle jejich distribuce na extracelulární (nízkomolekulární) a intravaskulární; jiné rozdělení je podle jejich vlastností vůči magnetickému poli. V obou případech je základem gadolinium, u intravaskulárních kontrastních látek vždy navázané na větší molekulu, zabraňují výstupu z cév, například albumin nebo dextran. Extracelulární kontrastní látka prochází po i. v. aplikaci velmi rychle do intersticia, po jednorázovém podání vyžaduje proto velmi rychlý záznam.



**Obr. 5** Magnetická rezonance u nemocného po infarktu myokardu – „late enhancement“ prokazuje fibrotické změny v oblasti aneurysmatu levé komory srdeční (šipky), vertikální dlouhá osa

**Obr. 6** Magnetická rezonance u téhož nemocného – „late enhancement“ prokazuje fibrotické změny v oblasti aneurysmatu levé komory srdeční (šipky)

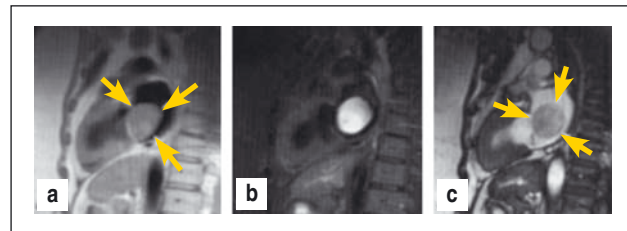
Obrázky laskavě zapůjčila MUDr. H. Malíková, Radiodiagnostické oddělení, Nemocnice Na Homole

Ischemický myokard je zobrazen již při prvním průtoku myokardem, podle použité techniky má oblast ischemie nižší intenzitu signálu (T1-vážené sekvence), nebo naopak vyšší intenzitu signálu (T2-vážené sekvence) při srovnání s myokardem s normální perfuzí. Vyšetření se provádí v klidu, kdy jsou prokazovány ireverzibilní změny perfuze. Pokud se výpadky perfuze manifestují až při zátěži, jsou většinou projevem přechodné ischemie a po revaskularizaci mohou vymizet. Vyšetření perfuze MR tedy svědčí pro přítomnost stenózy koronární tepny a současně zobrazuje její funkční význam. Senzitivita semikvantitativního hodnocení je udávána kolem 88 %, specifita kolem 90 %.<sup>(22)</sup>

K vyšetření viability myokardu se používá metoda pozdní akvizice obrázků po podání gadolinia (tzv. late gadolinium enhancement, LGE). Tato metoda umožňuje přímé, velmi přesné zobrazení oblastí myokardu nahrazeného fibrotickou tkání, současně zhodnotí funkční stav této oblasti – jeho viabilitu.<sup>(23)</sup> To má nesmírný význam pro indikaci revaskularizace myokardu u těchto nemocných. Umožňuje totiž velmi přesně posouzení výsledku plánované operace nebo perkutánní intervence – s vysokou pravděpodobností odhadne funkční zlepšení nově perfundované oblasti. Vzhledem k tomu, že budeme MR a LGE v kardiologii používat stále častěji, uvádíme stručně způsob, jakým se tato kontrastní látka v zobrazování uplatňuje. Gadolinium je kov, který se ve formě chelátu stává ve vodě rozpustnou paramagnetickou kontrastní látkou. Po intravenózním podání prochází difuzí z intravaskulárního prostoru do intersticiálních prostorů tkáně, nevstupuje však do buněk se zachovanou integritou – tedy do nepostižených buněk. Pozdní akumulace gadolinia za 10–15 minut po jeho podání je tedy podstatně vyšší v oblastech nekrózy a fibrózy, z toho vychází i princip označení výsledku zobrazení touto metodou: „jasné je to, co je mrtvé“ („bright is dead“) (obrázky 5 a 6). Zobrazení stavu myokardu v oblastech ischemie, nekrózy, jizvy metodou LGE umožňuje poměrně přesné kvantitativní odlišení oblastí, které jsou ještě viabilní, od těch, které jsou poškozeny ireverzibilně. Hodnocení viability myokardu metodou LGE bylo korelováno s pozitronovou emisní tomografií (PET) i s jednofotonovou emisní tomografií (SPECT); výsledky prokázaly srovnatelnou přesnost u PET, ve srovnání se SPECT byly výsledky LGE významně lepší.<sup>(24)</sup>

### Zobrazování věnčitých tepen

Význam MR v diagnostice anatomie a především patologických změn na věnčitých tepnách je zatím malý, přestože současné přístroje umožňují kvalitní zobrazení tepen o velikosti kolem jednoho mm.<sup>(25)</sup> V detekci koronární nemoci bylo v jedné větší studii



**Obr. 7** Magnetická rezonance – myxom levé síně (šipky), různé typy zobrazení tkání, vertikální dlouhá osa

prokázáno přesné vyhodnocení postižení koronárních tepen pouze u 72% nemocných, negativní předpovědní hodnota byla 81%. Ke zlepšení kvality zobrazování koronárních tepen jistě dojde při používání přístrojů se silou magnetického pole 3,0 T a s používáním nových kontrastních látek pro MR.

### Ostatní indikace

Suverénní postavení má MR v diagnostice patologických útvarů, především benigních a maligních nádorů a trombů (obrázek 7). Magnetická rezonance je také metodou volby pro diagnostiku arytmogenní kardiomyopatie pravé komory, protože kromě řady změn srdečních oddílů umožňuje průkaz infiltrace myokardu tukovou tkání.<sup>(26)</sup> K dalším indikacím MR patří dilatační a hypertrofická kardiomyopatie (KMP) (obrázek 8) a myokarditidy, kde může MR přinést i některé nové poznatky. Například v jedné studii u nemocných s dilatační KMP byl ve 12% prokázán zajímavý nález subendokardiálních změn typických pro koronární postižení. Takový nález svědčí pro ischemické postižení, což při normálním koronografickém nálezu ukazuje na limitaci angiografie věnčitých tepen v hodnocení prokrvení myokardu. Pokud by se skutečně jednalo o poškození myokardu typu dilatační KMP na podkladě dlouhodobě nerozpoznané ischemie, mohlo by to mít i významné dopady v oblasti farmakoterapie (zde minimálně podávání kyseliny acetylsalicylové a statinů). Postižení srdce u metabolických onemocnění je další oblastí velkého přínosu MR v diagnostice. Například u Fabryho choroby je typický nález koncentrické hypertrofie myokardu spolu s jinak nevidaným zesíleným signálem z laterální stěny myokardu levé komory srdeční. U sarkoidózy bývá postižení srdce u 20–30% nemocných, typické jsou granulomatózní změny volné stěny levé i pravé komory srdeční, které se dobře zobrazí metodou LGE. Typický nález poskytuje MR také u postižení srdce amyloidózou.<sup>(27)</sup> Magnetická rezonance se stále více využívá také u vrozených srdečních vad, chlopenních vad a u plicní hypertenze (obrázek 9). U vrozených srdečních vad se používá řada modalit MR: gradient (GE) ECHO zobrazování (krev a tuk jsou bílé, myokard tmavý) k hodnocení anatomických poměrů a funkčních parametrů levé i pravé komory srdeční, objemů síní, tepového obje-

mu, ejekční frakce a hmotnosti myokardu. Tzv. technika „T1-vážená spin ECHO“ (krev tmavá, tuk bílá barva) se používá k hodnocení anatomie a detailů morfologie myokardu; technika „T2-vážená spin ECHO“ se používá k hodnocení tkání – otoku, zánětu myokardu. Kromě toho jsou hodnoceny průtokové parametry v aortě, a. pulmonalis a v žilách, po podání gadolinia je možné trojrozměrné angiografické zobrazení velkých tepen a komplexní anatomie srdce s vrozenou vadou.

### Rizika magnetické rezonance

Magnetické pole v přístrojích MR je 30 000 krát silnější než magnetické pole země, hlavní riziko tedy představují kovové předměty, které se nesmějí do vlivu MR ani přiblížit. Kontraindikace vyšetření MR tedy představují kovové a elektromechanické implantáty, jejich souhrn je uveden v tabulce I. Při vyšetření je nezbytné, aby v místnosti, kde je přístroj umístěn, nebyly volně uloženy žádné kovové předměty, při zapojení magnetu hrozí jejich nekontrolovaný přesun do tunelu magnetu.

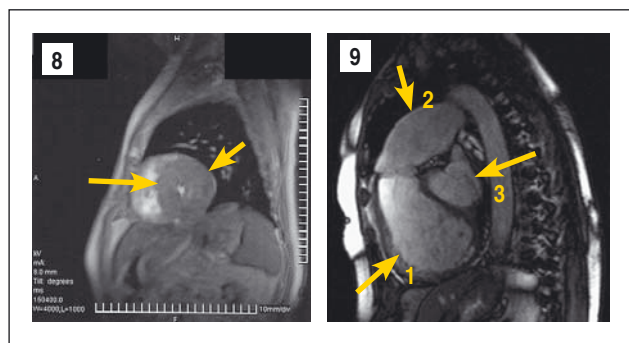
Tabulka I

| Implantáty a kovy             | Elektromechanické implantáty         |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Svorky aneurysmat v mozku     | Kardiostimulátory-<br>-defibrilátory |
| Kovová cizí tělíska v oku     | Stimulační elektrody                 |
| Kulky v kritických lokalitách | Kochleární implantáty                |
| Oční implantáty s kovem       | Neurostimulátory                     |
| Swanův-Ganzův katetr          | Shuntů u hydrocefalu                 |

U 5–10% nemocných je ve velkých souborech nemocných vyšetřovaných MR udávána klaustrofobie, na které se kromě malých uzavřených prostorů podílí i hluk samotného přístroje a osamělost nemocného ve vyšetřovací místnosti. V této problematice má velký význam citlivý přístup obsluhujícího personálu a vysvětlení celého vyšetření lékařem ještě předtím, než je nemocný do přístroje MR uložen.

### ZÁVĚR

Využití výpočetní tomografie a magnetické rezonance u nemocných s postižením srdce a velkých cév doznalo ve světě za posledních pět let ohromný rozvoj. Svědčí pro to také vznik řady odborných společností, které se specificky věnují této problematice, jejich částečný souhrn je uveden například v citaci 11 tohoto sdělení. Stejně tak to potvrzují monografie a nové časopisy speciálně určené jednotlivým neinvazivním zobrazovacím metodám. V České republice je využití uvedených metod v kardiologii dosud nedostatečné, hlavní příčiny jsou především ekonomické a jsou uvedeny v první části článku. Také rozsah vzdělání v těchto metodách mezi kardiology je dosud nedostatečný. Výbor České kardiologické společnosti proto zahájil aktivní spolupráci s Českou radiologickou společností s cílem zásadního zlepšení tohoto neutěšeného stavu. Jistě k tomu přispěje i očekávané rozšíření možnosti využití těchto metod v příštím roce, na prvním místě na pracovištích akreditovaných pro obor kardiologie.



Obr. 8 Magnetická rezonance – hypertrofie svaloviny levé komory srdeční (šipky), boční projekce

Obr. 9 Magnetická rezonance – chronická plicní hypertenze, hypertrofie a dilatace pravé komory srdeční (šipka 1), dilatace vzestupné části a. pulmonalis (šipka 2), malá stlačená levá komora srdeční (šipka 3)



## LITERATURA

1. Veselka J, Adla T, Duchoňová R. Význam multidetektorového CT v klinické kardiologii. *Cor Vasa* 2008;50:83–5.
2. Veselka J, Hledá se kardiolog. *Zn. CT a MR srdce nutná*. *Cor Vasa* 2007;49:346–7.
3. Kamínek M, Fikrle A. Vyšetření perfuze a funkce levé komory srdeční jednofotonovou emisní tomografií. Myocardial perfusion and left ventricular function assessment using single photon emission tomography. *Kardioforum* 2008;6:5–14.
4. Fikrle A, Kamínek M. Pozitronová emisní tomografie v kardiologii. Cardiac positron emission tomography. *Kardioforum* 2008;6:15–20.
5. Ferda J, Baxa J. Výpočetní tomografie srdce. Computed tomography of the heart. *Kardioforum* 2008;6:29–32.
6. Ferda J. CT angiografie. Praha: Galén, 2004:408.
7. Alkadhi H, Scheffel H, Desbiolles L, et al. Dual-source computed tomography coronary angiography: influence of obesity, calcium load, and heart rate on diagnostic accuracy. *Eur Heart J* 2008;29:766–76.
8. Husmann L, Valenta I, Gaemperli O, et al. Feasibility of low-dose coronary CT angiography: first experience with prospective ECG-gating. *Eur Heart J* 2008;29:191–7.
9. Schoenhagen P. Back to the future: coronary CT angiography using prospective ECG triggering. *Eur Heart J* 2008;29:153–4.
10. Leber AW, Johnson T, Becker A, et al. Diagnostic accuracy of dual-source multi-slice CT-coronary angiography in patients with an intermediate pretest likelihood for coronary artery disease. *Eur Heart J* 2007;28:2354–60.
11. Bluemke DA, Achenbach S, Budoff M, et al. Noninvasive coronary artery imaging. Magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography. A scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and the Councils on Clinical Cardiology and Cardiovascular Disease in the Young. *Circulation* 2008;118:published online June 27:1–21.
12. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASCN/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee, Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiovascular Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1475–97.
13. Cademartiri F, Runza G, Mollet NR, et al. Impact of intravascular enhancement, heart rate, and calcium score on diagnostic accuracy in multislice computed tomography coronary angiography. *Radiol Med* 2005;110:42–51.
14. Cademartiri F, Maffei E, Mollet NR. Is dual-source CT coronary angiography ready for the real world? *Eur Heart J* 2008;29:701–3.
15. Schoepf UJ, Suranyi P, Thilo C, Costello P, Zwerner PL. Replacing diagnostic catheterization with coronary CT angiography: the final frontier. *Eur Heart J* 2007;28: 2305–6.
16. Sechtem UP. Computed tomography coronary angiography: what is the hype, the reality, and the future? *Dialogues Cardiovasc Med* 2007;12:123–32.
17. Duchoňová D, Adla T, Veselka J, et al. Radiation dose of dual-source CT is much higher compared to invasive coronary angiography. *Circulation* 2008; Suppl 1:130.
18. Zanzonico P, Rothenberg LN, Strauss HW. Radiation exposure of computed tomography and direct coronary angiography: risk has its reward. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1846–9.
19. Prasad SK, Pennell DJ. Clinical role of advanced imaging in cardiology. *Dialogues Cardiovasc Med* 2007;12:87–101.
20. Appelbaum E, Botnar RM, Yeon SB, Manning WJ. Coronary magnetic resonance imaging: current state-of-the-art. *Coron Artery Dis* 2005;16:345–53.
21. Cury RC, Cattani CA, Gabure LA, et al. Diagnostic performance of stress perfusion and delayed-enhancement MR imaging in patients with coronary artery disease. *Radiology* 2006;240:39–45.
22. Schwitter J. Perfusion cardiovascular magnetic resonance: will it replace SPECT? *Dialogues Cardiovasc Med* 2007;12:114–22.
23. Bree D, Wollmuth JR, Cupps BP, et al. Low dose dobutamine tissue-tagged magnetic resonance imaging with 3-dimensional strain analysis allows assessment of myocardial viability in patients with ischemic cardiomyopathy. *Circulation* 2006;114 (Suppl 1):I33–I36.
24. Bucciarelli-Ducci C, Wu E, Lee DC, et al. Contrast-enhanced cardiac magnetic resonance in the evaluation of myocardial infarction and myocardial viability in patients with ischemic heart disease. *Curr Probl Cardiol* 2006;31: 128–68.
25. Gerber BL. MR perfusion imaging. What will be its impact for detection of coronary disease in the future? *Eur Heart J* 2008;29:434–5.
26. Tandri H, Friedrich MG, Calkins H, Bluemke DA. MRI of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia. *J Cardiovasc Magn Reson* 2004;6:557–63.
27. Maceira AM, Joshi J, Prasad SK, et al. Cardiovascular magnetic resonance in cardiac amyloidosis. *Circulation* 2005;111:186–93.

*Došlo do redakce 24. 11. 2008*

*Přijato k otištění 26. 11. 2008*