

Stručný přehled možností a limitací magnetické rezonance srdce

Roman Panovský

Mezinárodní centrum klinického výzkumu (International Clinical Research Center – ICRC)

a 1. interní kardiologická klinika, Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně a LF Masarykovy univerzity Brno

Magnetická rezonance srdce (Cardiovascular Magnetic Resonance – CMR) je rychle se rozvíjející neinvazivní zobrazovací metoda, která přináší jedinečné a nenahraditelné informace o srdeční morfologii a funkci. CMR se postupně stala nepostradatelnou součástí kardiologické diagnostiky a její využití se s technologickými pokroky metody stále rozšiřuje. Práce popisuje současné možnosti CMR v kardiologii a zmiňuje též její limitace.

Klíčová slova: magnetická rezonance srdce, ischemická choroba srdeční, kardiomyopatie, parametrický mapping.

Cardiovascular magnetic resonance: a state-of-art review

Cardiovascular Magnetic Resonance (CMR) is a non-invasive imaging method that provides a lot of unique data regarding cardiac anatomy and structure, tissue characterization, myocardial perfusion, and blood flow. CMR has become a robust non-invasive diagnostic tool in cardiology. The review summarizes an up-to-date spectrum of CMR-derived diagnostic information as well as limitations of the method.

Key words: cardiovascular magnetic resonance, coronary artery disease, cardiomyopathy, parametric mapping.

Magnetická rezonance srdce (Cardiovascular Magnetic Resonance – CMR) je rychle se rozvíjející neinvazivní zobrazovací metoda, která přináší jedinečné a jinými metodami nenahraditelné informace o srdeční morfologii a funkci. Po relativně obtížných začátcích se díky svému technickému rozvoji postupně vyvinula v základní kámen neinvazivní kardiologické diagnostiky. Nabízí přesné zhodnocení objemů srdečních dutin, celkové i regionální funkce obou srdečních komor, přesnou informaci o srdeční anatomii, unikátní informace o struktuře myokardu, je možné ji využít ke zhodnocení toků, kontraktilní rezervy myokardu, perfuze srdečního svalu i vyšetření okolí srdce a velkých cév. Pro svou komplexnost je využívána jak v každodenní klinické praxi, tak i pro výzkumné účely. Kromě vlastního stanovení diagnózy je velmi vhodná i ke sledování vývoje nemoci, efektu léčby nebo naopak nežádoucích účinků kardiotoxických léků.

Rovněž přináší celou řadu velmi důležitých prognostických markerů. Indikace k využití CMR se neustále rozrůstají, aktuálně je její využití doporučeno v 23 z celkem 26 doporučení Evropské kardiologické společnosti (ESC – European Society of Cardiology). Existuje též SCMR (Society for Cardiovascular Magnetic Resonance) Position Paper, který shrnuje klinické indikace k provedení CMR (1). Rovněž Česká kardiologická společnost (ČKS) zahrnuje CMR do svých doporučených postupů, zejména odborným stanoviskem Indikační kritéria MR srdce a jejich časový harmonogram, který byl připraven společně s Radiologickou společností České lékařské společnosti Jana Evangelisty Purkyně (ČSL JEP) (2).

Hodnocení srdeční funkce a objemů

Již řadu let je CMR považována za zlatý standard v oblasti měření objemů srdečních

dutin a stanovení funkce levé komory (LK) srdeční. Je to dáno zejména velmi dobrým prostorovým i dostatečným časovým rozlišením k tomuto účelu používaných dynamických (cine) CMR sekvencí (3–5). Ve srovnání s nejčastěji používanou echokardiografií je výhodou také nepřítomnost limitací akustického okna. Pro měření ejekční frakce (EF) LK lze navíc poměrně jednoduše použít dvě nezávislé metody měření. Přesnějším postupem je metoda sumace disků (tzv. Simpsonova) s použitím řezů LK v krátké ose od báze k hrotu (Obr. 1a). U tohoto postupu se nepoužívá složitých kalkulací ani aproximací, tedy naměřené hodnoty by měly být nejbližší reálným objemům. Alternativou je geometrická metoda (biplane area length techniques) využívající postup podobný echokardiografickému měření objemů a EF, tedy odhad objemů z rovnice plocha-délka měřený ze dvou dlouhých os LK – vertikální a horizontální dlouhé osy (Obr. 1b). Těmito metodami dokážeme kromě

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA: doc. MUDr. Roman Panovský, Ph.D., panovsky@fnusa.cz

1. interní kardiologická klinika, Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně a LF Masarykovy univerzity
Pekařská 53, 656 91 Brno

Cit. zkr: Interv Akut Kardiolog 2021; 20(4): 233–237

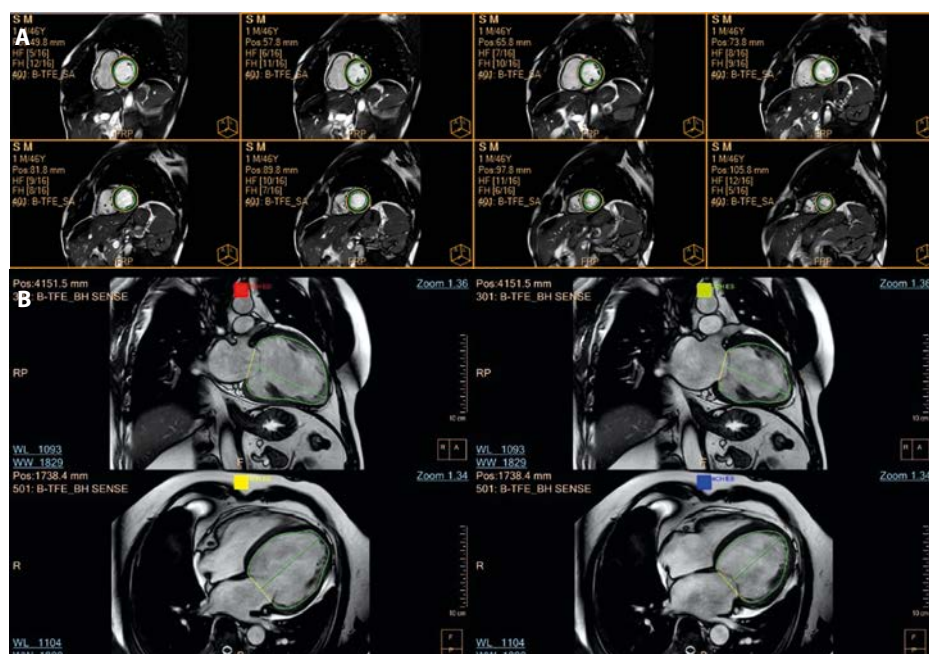
Článek přijat redakcí: 15. 1. 2021

Článek přijat po přepracování: 16. 3. 2021

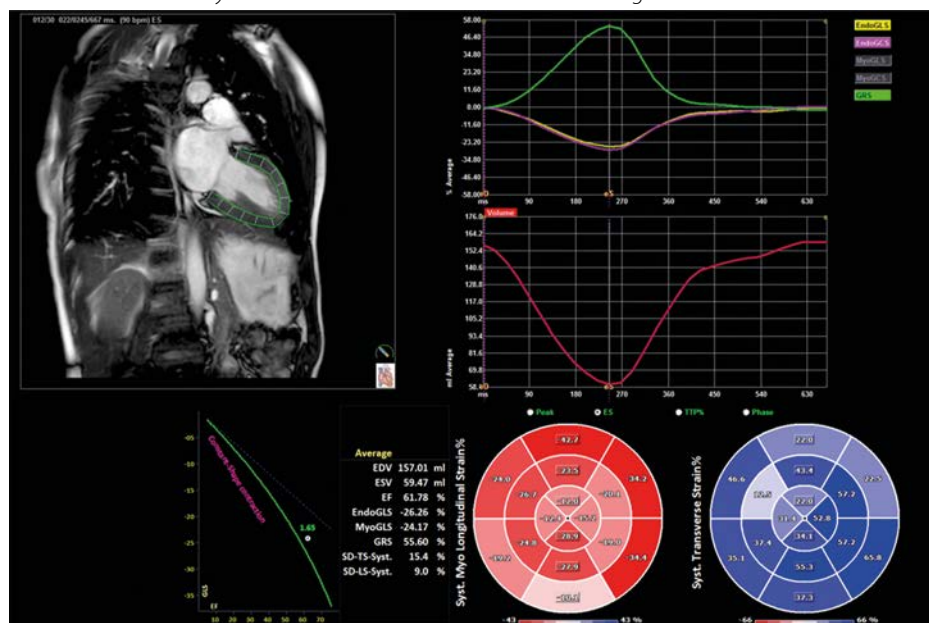
Článek přijat k publikaci: 14. 4. 2021

Obr. 1. Hodnocení srdeční funkce a objemů levé komory srdeční

1A) metoda sumace disků s použitím řezů levé komory v krátké ose od báze k hrotu; 1B) geometrická metoda (biplane area length techniques)



Obr. 2. Hodnocení myokardiálního strainu metodou feature tracking



end-diastolického, end-systolického a tepového objemu a EF změřit i masu myokardu, což je s výhodou zejména u nemocných s hypertrofií LK. Obdobně lze stanovovat i objemy a EF komory pravé (PK).

O něco komplikovanější je měření velikosti síní. Ačkoliv je doporučováno měření objemů, v praxi je častěji využíváno měření plochy síní, a to jednak z důvodu ne zcela dobře definovaných referenčních hodnot, ale hlavně snadnějšího měření ploch z rutinně využívaných cine sekvencí (6) v dlouhých osách LK. Naopak pro změřeni objemů je používána 3D sekvence,

kteří znamená poměrně časově dlouhý náběr dat navíc a také nutnost využití příslušného softwaru ke zhodnocení.

Vedle celkové systolické funkce LK se samozřejmě pomocí CMR velmi dobře stanovuje i regionální kontraktilita stěn LK (a volné stěny PK). Princip hodnocení je stejný jako v echokardiografii, výhodou je obvykle výrazně lepší zobrazení endokardu. Ačkoliv hodnocení probíhá nejčastěji vizuálně, v rezervě je i semiautomatické softwarové hodnocení. Ztlustňování stěn lze i velmi přesně měřit. Pro zhodnocení longitudinální funkce komor lze

s výhodou použít měření pohybu anulů chlopní – Mitral Annular Plane Systolic Excursion (MAPSE) a tricuspid Annular Plane Systolic Excursion (TAPSE). Podobně jako v echokardiografii lze stanovit i deformaci myokardu, tedy myokardiální strain. Používá se k tomu buď metoda taggingu, která je historicky nejstarší, ale má nevýhodu nutnosti skenování speciální sekvence nebo novější metody tzv. tissue trackingu, nebo feature trackingu (7, 8) (Obr. 2). U těchto přístupů odpadá nezbytnost skenování sekvence navíc, lze k nim využít rutinně snímané cine sekvence. Limitací je potřeba speciálního postprocesingového softwaru k realizaci analýzy.

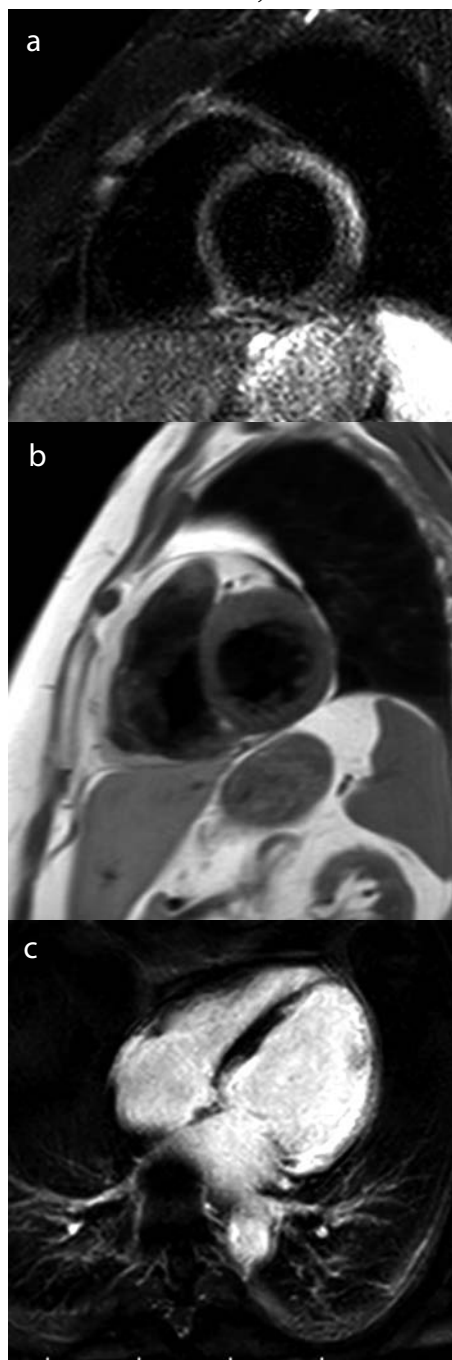
Morfologické zobrazení

Zatímco v hodnocení objemů a funkce srdeční můžeme CMR vyšetření srovnávat s echokardiografií, v oblasti zobrazení struktury myokardu (a případně dalších struktur) je CMR zcela neinvazivní unikátní zobrazovací metodou, srovnatelnou jedine s invazivní endomyokardiální biopsií. Právě možnost „vhlédnutí“ do srdečního svalu stála za rychlým rozvojem CMR v posledních desetiletích a dosud zůstává jedním z nejzásadnějších přínosů metody pro klinickou diagnostiku řady onemocnění. Principy magnetické rezonance přesahují rozsah tohoto článku, pro popsání možností morfologického zobrazení je ale důležité alespoň zmínit, že skenované obrazy mohou být nastavené jako T1 vážené nebo T2 vážené obrazy, případně kombinace obou. Podle tohoto nastavení potom příslušné obrazy dokáží rozlišit různé druhy tkání – tkáně s vysokým obsahem vody mají dlouhé T1 i T2 relaxační časy, tkáně s vysokým obsahem tuků mají tyto časy krátké, tedy v obrazech se liší intenzitou signálu tkáně. Můžeme tedy takto zobrazit srdeční sval s vyšším obsahem vody, tedy edémem při myokarditidě (Obr. 3a), nebo tukovou degeneraci myokardu například u arytmogenní kardiomyopatie (Obr. 3b).

Morfologické zobrazení se využívá i po podání kontrastu. Jde o techniku tzv. pozdního sycení (LGE – Late Gadolinium Enhancement), kdy cca 10–15 minut po podání gadoliniové kontrastní látky jsou naskenovány T1 vážené obrazy. Zatímco ve zdravém myokardu dojde k vyplavení většiny kontrastu do oběhu, myokard fibroticky či jinak změněný naopak kontrast retinuje. U většiny CMR vyšetření je

Obr. 3. Morfologické zobrazení srdce

3A) T2 vážené obrazy v krátké ose – edém myokardu přední a laterální stěny; 3B) T1 vážené obrazy v krátké ose – lipomatózní infiltrace stěny pravé komory; 3C) pozdní postkontrastní obrazy v dlouhé ose levé komory – transmurní jizva po anterolaterálním infarktu myokardu



nutné v prvním kroku určit přítomnost nebo nepřítomnost LGE. Pokud je LGE přítomné, rozlišuje se následně, zda jeho charakter svědčí spíše pro ischemickou nebo neischemickou etiologii postižení. Ischemická etiologie znamená poinfarktovou jizvu, tedy subendokardiální nebo transmurní, spíše homogenní, LGE odpovídající povodí infarktové tepny (Obr. 3c). CMR je v tomto smyslu ideální metodou

na zhodnocení rozsahu a transmurnality infarktové jizvy. Neischemické LGE může být různé, například subepikardiální, intramurní nebo difúzně endokardiální. Příčinou může být nejčastěji pozánětlivá fibróza myokardu, ale také stádavné a infiltrativní onemocnění myokardu, srdeční sarkoidóza a další. Existují různá predilekční místa a charakter LGE pro uvedené diagnózy, ale je zde poměrně velký překryv možností. Tedy v reálné praxi CMR velmi spolehlivě posoudí přítomnost LGE a jeho základní charakter, ale přesnější stanovení neischemické etiologie je naopak většinou spíše jen odhadem pravděpodobnosti daného onemocnění než jakousi virtuální biopsií (9, 10).

Parametrický mapping

Jak již bylo zmíněno, morfologické zobrazení myokardu představuje unikátní a velmi cennou neinvazivní diagnostiku onemocnění myokardu. Jeho zásadní limitací je však omezení na lokalizované postižení srdečního svalu. Zobrazení je v odstínech šedi a vždy se srovnává myokard nemocný oproti myokardu zdravému, tedy myokard jasnější nebo tmavší ve srovnání se svým okolím. Problém nastává v situacích, kdy je myokard postižen difúzně, například difúzní edém myokardu, difúzní infiltrace srdečního svalu. V takových případech nelze z morfologických obrazů rozlišit, zda je myokard celý zdravý, nebo celý nemocný.

Tuto limitaci se podařilo v posledních letech vyřešit relativně novou technikou parametrického mappingu. Jde o snahu kvantifikovat intenzitu signálu tkáně na určité numerické stupnici, co nejvíce nezávisle na typu přístroje, jeho nastavení a stavu pacienta. K dispozici je využití T1 váženého mappingu, T2 váženého mappingu a T2* váženého mappingu. Kombinace T1 mappingu a T2 mappingu (Obr. 4a) je využívána k diagnostice edému myokardu. T1 mapping se provádí i nativně i postkontrastně, získáme díky němu informaci o nativním T1 relaxačním času myokardu, postkontrastním T1 relaxačním času myokardu a extracelulárním objemu myokardu (ECV – Extracellular Volume) (Obr. 4b). Pomocí těchto parametrů lze následně diagnostikovat edém, fibrózu nebo infiltrace srdečního svalu. T2* mapping se využívá ke zhodnocení obsahu železa v myokardu, například u hemochromatózy (11).

Hodnocení srdečních chlopní

I když v hodnocení chlopních vad zůstává echokardiografie metodou číslo jedna, CMR je schopna nabídnout také řadu důležitých informací. Například u aortálních vad lze naskenovat řez (cine) přes chlopeň tak, že je možno určit počet cípů chlopně a změřit plochu ústí (AVA – Aortic Valve Area) planimetry, většinou v lepší kvalitě než při echokardiografii. K měření parametrů toků přes chlopně ústí (nebo i v cévách) se používají flow sekvenční (VENC – velocity encoding), pomocí které lze získat informace o tepovém objemu, dopředném toku, regurgitačním toku, regurgitační frakci, střední a vrcholové rychlosti a tlakovém gradientu (Obr. 5). Tato měření fungují poměrně spolehlivě u aortální a pulmonální chlopně, naopak u atrioventrikulárních chlopní jsou většinou zatíženy významnou chybou, danou zejména pohybem anulu chlopně během srdečního cyklu (12).

Trojrozměrné zobrazení

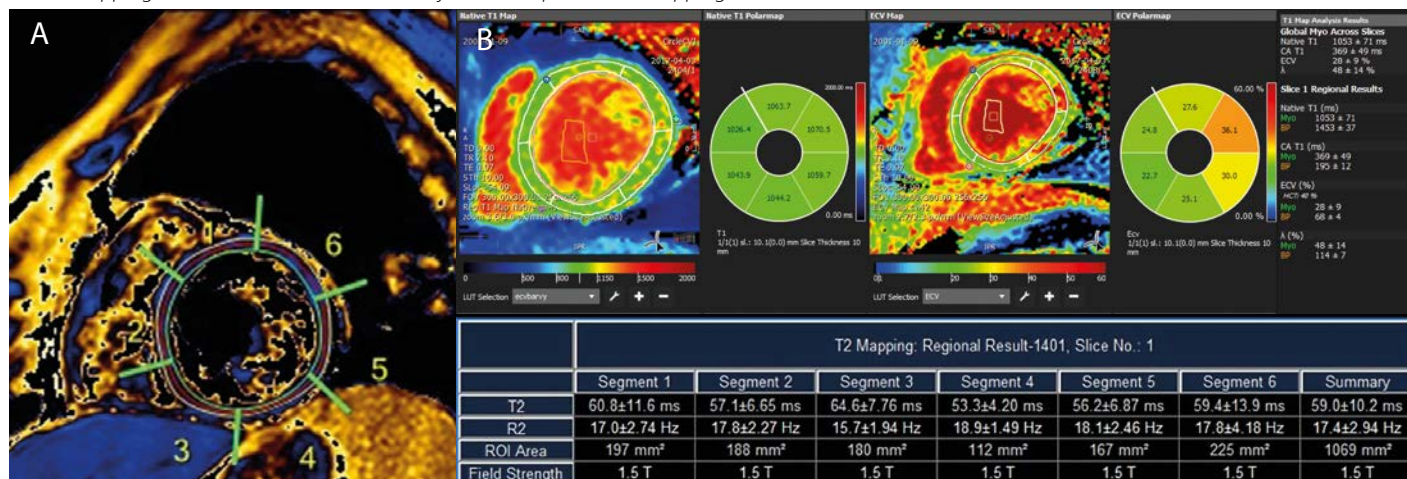
Kromě dvourozměrných řezů lze pomocí CMR získat i trojrozměrná data. Používá se k tomu celá řada 3D sekvencí, případně tzv. whole heart sekvencí, většinou s použitím dechového navigátoru, neboť náběry dat trvají dlouhou dobu a je třeba umožnit nemocnému dýchání během skenování. Lze využívat zobrazení nativní i s kontrastem. S výhodou se tyto techniky využívají při zobrazení návratu plicních žil k vyloučení anomálií u nemocných před radiofrekvenční ablací (Obr. 6). Dalším využitím je zobrazení aorty a dalších cév. Naproti tomu MR koronarografie využívající tento přístup je zatím stále pro rutinní praxi nepoužitelná, a to z důvodu její nedostatečné kvality.

Patologické intrakardiální útvary a struktury v okolí srdce

CMR se provádí ve většině případů k vyšetření vlastního srdce. Ale i struktury mimo srdce a případné patologické intrakardiální útvary jsou velmi zobrazitelné pomocí CMR. S velkou výhodou se využívá CMR k odlišení intrakardiálního trombu od tumoru (především s využitím časných postkontrastních skenů). I v rámci bližšího určení tumorů přináší CMR celou řadu důležitých informací (hlavně morfologické sekvenční), i když v těchto případech jde vždy o odhad s vyšší či nižší pravděpodobností. V žádném případě ne-

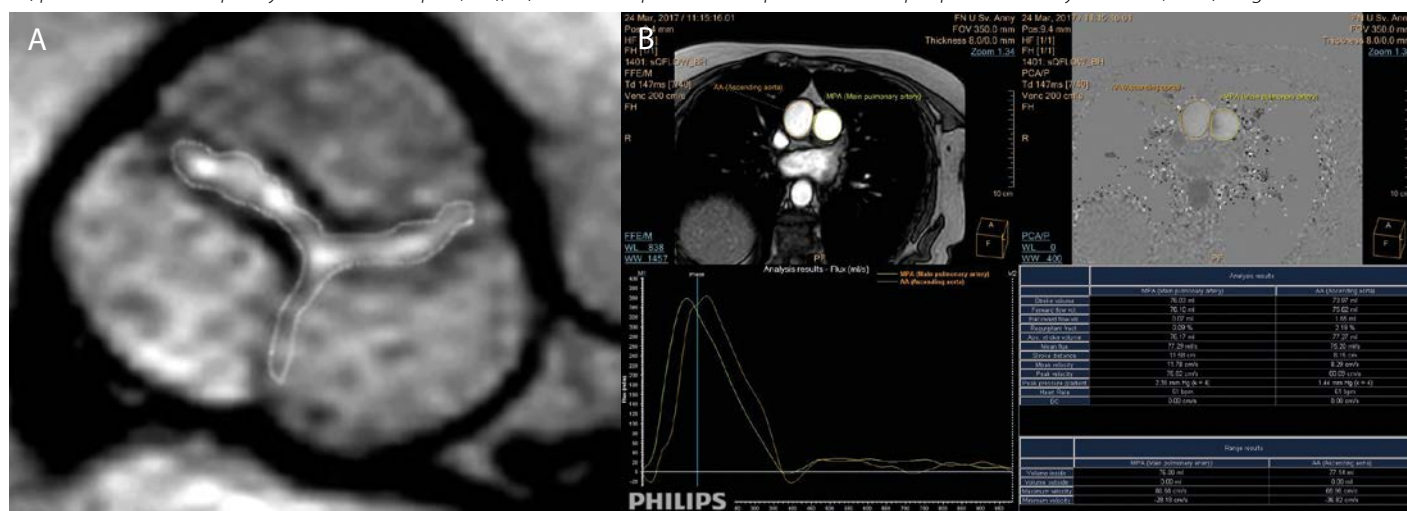
Obr. 4. Parametrický mapping

4A) T2 mapping; 4B) měření extracelulárního objemu (ECV) pomocí T1 mappingu

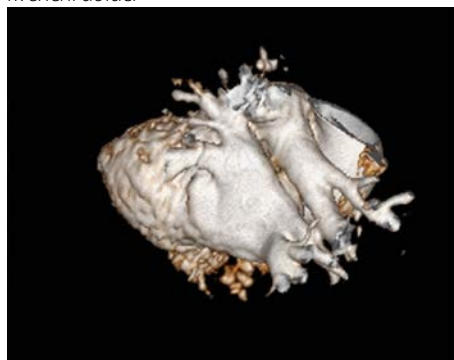


Obr. 5. Hodnocení chlopních vad

5A) planimetrické měření plochy ústí aortální chlopně (AVA); 5B) měření toků přes aortální a pulmonální chlopně pomocí velocity-encoded (VENC) magnetické rezonance



Obr. 6. Trojrozměrné zobrazení návratu plicních žil k vyloučení anomálií u nemocných před radiofrekvenční ablací



může CMR nahradit biopsii. Ze srdečního okolí lze velmi dobře hodnotit zejména perikard. Lze dobře hodnotit perikardiální výpotek, jeho rozložení, množství, případně útlak srdečních oddílů. Pozdní syčení perikardu bývá typicky během a po perikarditidách. Rovněž případné známky strikce lze diagnostikovat podobně jako při použití echokardiografie.

Viabilita myokardu

Kombinací zhodnocení transmurality jizvy a vyšetření kontraktilní rezervy myokardu lze využít CMR v diagnostice viability myokardu. Jak již bylo sděleno, jizva a její rozsah se zobrazuje pomocí LGE. Kontraktilní rezerva se hodnotí srovnáním regionální kontraktility na cine sekvencích provedených v klidu a při malých dávkách dobutaminu. Oproti jiným metodám v diagnostice viability má právě kombinace dvou různých parametrů při CMR vyšetření nespornou výhodu. Zatímco echokardiografie hodnotí pouze kontraktilní rezervu, zátěžová scintigrafie přítomnost a reverzibilitu perfuzního defektu a pozitronová emisní tomografie metabolismus myokardu, CMR z těchto metod nejlépe zobrazí přítomnost a transmuralitu jizvy, a navíc tuto informaci kombinuje se zhodnocením kontraktilní rezervy (13).

Průkaz ischemie myokardu

V neposlední řadě se CMR využívá v diagnostice ischemie myokardu (14). K navození zátěže lze využít buď vyšší dávky dobutaminu, nebo vasodilatancia (adenosin, regadenoson). Při podávání vzestupných dávek dobutaminu je sledována pomocí cine sekvencí zejména regionální kontraktilita a její případné zhoršení. Naopak při zátěžové CMR s vasodilatací je pátráno po zátěží vyvolaném perfuzním defektu myokardu. K jeho zobrazení se používají speciální perfuzní sekvence nabírané na vrcholu zátěže a v klidu, vždy během podání kontrastní látky. Z hlediska provedení zátěžové CMR je jednoznačně preferována zátěž vasodilatací, s výjimkou nemocných s kontraindikací podání adenosinu. Vždy je nutno myslet na přípravu nemocného, kde u plánovaného podání adenosinu (vynechání metylxantinů, kávy, černého čaje, grepového džusu, čokolády a banánů) je příprava odlišná

než před podáním dobutaminu (vysazení anti-anginózních léků, především betablokátorů). Samozřejmostí je potřebné vybavení a lékařský dozor během provádění zátěžového testu u potenciálně rizikových nemocných.

Limitace CMR

CMR má řadu limitací. Je možno je rozdělit na limitace vlastní metody, limitace dané pacientem a limitace související s vyšetřujícím personálem. Co se týče limitací metody, princip vyšetřování magnetickou rezonancí (MR) je dán kombinací působení magnetického pole a radiofrekvenčních pulzů. Ačkoli je vyšetření obecně považováno za zdraví neškodné, je třeba počítat s faktem použití těchto fyzikálních vlivů. Tedy u magnetického pole je třeba zvýšené opatrnosti v případě feromagnetických materiálů, ať už přímo v těle pacienta, nebo i v jeho okolí. V posledních letech došlo k velkému posunu stran použitých materiálů implantovaných do těl pacientů (například endoprotéz), takže se výrazně snížilo procento nemocných kontraindikovaných k vyšetření z důvodu přítomnosti feromagnetického materiálu v těle. Nutno však stále počítat s možností negativního ovlivnění kvality obrazů i materiály, které jsou vedeny jako „MR safe“, například kardiostimulátorů nebo umělých chlopní. Samozřejmostí je pečlivá kontrola pacienta před vyšetřením s ověřením všech potenciálně rizikových materiálů. Radiofrekvenční pulzy vedou k produkci tepla ve tkáních. Riziko lokálního teplotního přehřátí je potenciálně zvýšeno opět u kovových implantátů nebo u tetování. Většina CMR vyšetření se neobejde bez podání gadoliniové kontrastní látky, která má sice bezpečnější profil ve srovnání s jodovými

kontrasty, ale vzácně (a u starších kontrastních látek) byla v souvislosti s jejich podáním popsána nefrogenní systémová fibróza, proto je třeba zvýšené opatrnosti zejména u nemocných s těžkou renální insuficiencí. V neposlední řadě je nutno počítat s tím, že vyšetření trvá poměrně dlouho – dle rozsahu skenovaných sekvencí mezi 25–90 minutami, většinou kolem 45 minut. A stále ještě platí u většiny sekvencí nutnost zadržení dechu po dobu skenování (většinou 10–20 sekund). Dlouhý celkový skenovací čas s nutností opakovaného zadržení dechu může být limitující pro nemocné v těžkém stavu. V neposlední řadě může být u extrémně obézních nemocných problémem velikost gantry.

Z výše uvedeného vyplývá většina limitací souvisejících s konkrétním pacientem. Nejčastějším důvodem neprovedení vyšetření zůstává těžká klaustrofobie. Naopak, stále menší procento indikovaných nemocných nemůže CMR vyšetření podstoupit pro přítomnost MR nekompatibilního feromagnetického materiálu. Ostatní limitace se nebývají důvodem neprovedení vyšetření, ale mohou mít velmi výrazný vliv na jeho kvalitu. Častým problémem je nespolupracující nemocný, který není ochoten nebo schopen vydržet bez pohybu ležet během vyšetření a dýchat přesně dle pokynů. Výraznější srdeční arytmie dříve bývaly při CMR téměř neřešitelným problémem, novější generace MR skenerů nabízí řadu možností, jak ovlivnit kvalitu vyšetření těchto nemocných, která ale i tak bývá často výrazně horší ve srovnání s pacienty s pravidelným sinusovým rytmem. V neposlední řadě je třeba myslet na to, že velmi závažní akutní nemocní jsou během CMR vyšetřování částečně izolováni od průběžné intenzivní péče a někdy

je nutno rozsah CMR z tohoto důvodu omezit na nezbytné minimum.

Nezbytnou podmínkou ke správně provedenému CMR vyšetření je zkušený, ideálně na CMR specializovaný personál. Výhodou je multioborový tým. Je třeba zdůraznit, že „learning curve“ pro skenování (ale i popisování nálezů) je poměrně dlouhá. Plánování skenovacích rovin bývá pro neškolený personál velkým problémem, podobně jako nastavení celé řady skenovacích parametrů, které musí být přizpůsobeny konkrétnímu pacientovi, uložení jeho srdce v hrudníku, dané tepové frekvenci, dýchání a celé řadě dalších proměnných. Spektrum možností CMR je v současné době natolik široké, že není možné u všech nemocných skenovat úplně všechny sekvence – je třeba u každého nemocného vybrat ty, kterého jsou pro něho ke správné diagnostice nezbytné. Samozřejmostí je pečlivá komunikace s indikujícím lékařem ohledně požadavků a očekávaného přínosu vyšetření, rovněž tak flexibilita v rámci skenovacího protokolu reagující na případné neočekávané nálezy během vyšetřování. Je třeba zdůraznit, že CMR může ukázat pouze takové informace, na které je skenování dobře nastaveno a provedeno.

Závěr

CMR je rychle se rozvíjející neinvazivní zobrazovací metoda, která přináší jedinečné informace o srdeční morfologii a funkci. Její klinické využití je velmi široké, poskytuje celou řadu vyšetřovacích možností. Kromě diagnostických dat poskytuje i velmi důležité prognostické informace. Je třeba znát její možnosti, stejně jako limitace. Vyžaduje individuální přístup k pacientům a dobře proškolený personál.

LITERATURA

1. Leiner T, Bogaert J, Friedrich MG, et al. SCMR Position Paper (2020) on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2020; 22: 76.
2. Pleva M, Weichet J, Paleček T, et al. Clinical Indications and Time Schedule for Cardiac Magnetic Resonance Imaging. A Joint Expert Opinion of the Czech Society of Cardiology and Czech Radiological Society of the Czech Medical Society of J.E. Purkyne, Cor et Vasa 2018; 60: e649–e653.
3. Pleva M, Ouředníček P. MRI srdce. Grada 2012.
4. Lombardi M, Plein S, Petersen S, et al. The EACVI Textbook of Cardiovascular Magnetic Resonance. Oxford University Press 2018.
5. Arnold JR, McCann GP. Cardiovascular magnetic resonance: applications and practical considerations for the general cardiologist. *Heart* 2020; 106: 174–181.
6. Petersen SE, Khanji MY, Plein S, et al. European Association of Cardiovascular Imaging expert consensus paper: a comprehensive review of cardiovascular magnetic resonance nor-

- mal values of cardiac chamber size and aortic root in adults and recommendations for grading severity. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2019; 20(12): 1321–1331.
7. Masarova L, Pisciotto ML, Panovsky R, et al. Decreased global strains of LV in asymptomatic female Duchenne muscular dystrophy gene carriers using CMR-FT. *JACC: Cardiovasc Imaging* 2020, in press.
8. Farzaneh-Far A, Romano S. Measuring longitudinal left ventricular function and strain using cardiovascular magnetic resonance imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2019; 20(11): 1259–1261.
9. Panovsky R, Pleva M, Feitova V, Kruzliak P, Meluzin J, Kincil V. The prognostic impact of myocardial late gadolinium enhancement. *Cardiol Rev* 2014; 22(3): 128–39.
10. Bing R, Dweck MR. Myocardial fibrosis: why image, how to image and clinical implications. *Heart* 2019; 105: 1832–1840.
11. Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance ma-

- pping of T1, T2, T2* and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J Cardiovasc Magn Reson* 2017; 19(1): 75.
12. Kočková R, Línková H, Hlubocká Z, et al. New imaging markers of clinical outcome in asymptomatic patients with severe aortic regurgitation. *J Clin Med* 2019; 8(10): 1654.
13. Garcia MJ, Kwong RY, Scherrer-Crosbie M, et al. American Heart Association Council on Cardiovascular Radiology and Intervention and Council on Clinical Cardiology. State of the Art: Imaging for Myocardial Viability: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circ Cardiovasc Imaging* 2020; 13(7): e000053.
14. Kiaos A, Tziatzios I, Hadjimiltiades S, Karvounis C, Karamitsos TD. Diagnostic performance of stress perfusion cardiac magnetic resonance for the detection of coronary artery disease: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol* 2018; 252: 229–233.