

What is new about cardiovascular magnetic resonance imaging: indications, contraindications, and clinical applications

Enrika Mačiulaitytė¹, Gabija Balandytė¹, Gabrielė Žebrauskaitė²

¹Lithuanian University of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kaunas, Lithuania

²Kaunas Hospital of Lithuanian University of Health Sciences, Department of Cardiology, Kaunas, Lithuania

Abstract

Background. Cardiovascular magnetic resonance imaging (MRI) plays an established role in the diagnosis and risk assessment of people with heart disease. The possibilities of using magnetic resonance imaging in clinical practice are expanding along with new MRI sequences, research methods, and the application of artificial intelligence. These technologies raise the possibility of getting a broader range of information, and better image quality to diagnose heart disease.

Aim: to review indications, contraindications, and clinical applications of cardiovascular magnetic resonance imaging.

Methodology. The literature used for this review was selected using “Pubmed” and “Web of science” databases. Following dates from 2013 to 2022, using keywords: “cardiac magnetic resonance imaging“, “heart diseases“, “magnetic resonance imaging”.

Results. MRI is a secondary choice of research method in the diagnosis of heart diseases. Cardiovascular MRI is used to diagnose ischemic heart disease, myocarditis, non-ischemic cardiomyopathy, valvular pathology, pericardial, and congenital heart diseases, cardiac tumours, and aneurysm. Cardiac implanted electronic devices are no longer considered as absolute contraindication for performing MRI. During MRI, the absolute contraindication to using gadolinium contrast is acute kidney disease, glomerular filtration rate <30 ml/min/1.73m² and pregnancy.

Conclusions. Cardiovascular MRI plays an established role in the diagnosis of heart diseases. MRI provides useful information in assessment of myocardial perfusion, vitality, infiltrations, valvular and coronary vascular pathologies. Absolute contraindications to cardiovascular MRI include metal, electrical devices, or other implants that are not available for this examination.

Keywords: cardiovascular magnetic resonance imaging; heart diseases; magnetic resonance imaging.

Kas naujo sužinota apie širdies magnetinio rezonanso tyrimo galimybes: indikacijos, kontraindikacijos, taikymo galimybės

Enrika Mačiulaitytė¹, Gabija Balandytė¹, Gabrielė Žebrauskaitė²

¹Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Medicinos fakultetas, Kaunas, Lietuva

²Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Kauno ligoninė, Kardiologijos skyrius, Kaunas, Lietuva

Santrauka

Įvadas. Širdies magnetinio rezonanso tomografija (MRT) tampa vis svarbesnė širdies ligomis sergančių pacientų diagnozės nustatymui ir rizikos vertinimui. MRT yra tiksliausias tyrimas vertinant širdies masę, tūrį ir mechaninę funkciją. Magnetinio rezonanso tyrimo panaudojimo galimybės klinikinėje praktikoje plečiasi kartu su naujomis MRT sekomis, naujais tyrimo metodais, dirbtinio intelekto pritaikymu. Šios technologijos didina galimybę gauti platesnį informacijos spektrą, geresnę vaizdų kokybę, diagnozuojant širdies ligas.

Tikslas: apžvelgti magnetinio rezonanso tomografijos taikymo galimybes, indikacijas, kontraindikacijas širdies ligomis sergantiems pacientams.

Tyrimo objektas ir metodai. Literatūra buvo rinkta naudojant „PubMed“, „Web of science“ duomenų bases. Publikacijos rinktos naudojant pasirinktus raktažodžius: širdies magnetinio rezonanso tomografija, širdies ligos, magnetinio rezonanso tomografija.

Rezultatai. MRT yra antraeilis tyrimo metodo pasirinkimas širdies ligų diagnostikoje, kuris naudojamas lėtinės išeminės širdies ligos, miokardito, neišeminės kardiomiopatijos, vožtuvų patologijos, perikardo ligų, širdies navikų, įgimtų širdies ligų, vainikinių arterijų aneurizmos diagnostikoje. Širdies implantai nebėra laikomi absoliučiomis kontraindikacijomis atlikti magnetinį rezonansą, prietaisai gali būti perprogramuoti į MRT naudojimui saugų režimą nuotoliniu būdu. MRT metu absoliuti kontraindikacija naudoti gadolinio kontrastą yra ūmus inkstų pažeidimas, apskaičiuotas glomerulų filtracijos greitis $<30 \text{ ml/ min/ } 1.73\text{m}^2$ ir nėštumas.

Išvados. Širdies magnetinio rezonanso tomografijos tyrimas atlieka svarbų vaidmenį širdies ligų diagnostikoje. MRT suteikia naudingos informacijos vertinant miokardo audinį ir funkciją. Vertinama miokardo perfuzija, gyvybingumas, infiltracijos, vožtuvų, vainikinių kraujagyslių patologijos. Absoliučių kontraindikacijų atlikti MRT tyrimą mažėja, tačiau vis dar išlieka metaliniai, elektriniai prietaisai ar kiti implantai, kurie nėra pritaikyti šio tyrimo atlikimui.

Raktažodžiai: širdies magnetinio rezonanso tomografija; širdies ligos; magnetinio rezonanso tomografija.

1. Įvadas

Pastaraisiais metais širdies magnetinio rezonanso tomografija (MRT) tampa vis svarbesnė širdies ligomis sergančių pacientų diagnozės nustatymui ir rizikos vertinimui. MRT metodas yra „auksinis standartas“ neinvaziamam tūriniam ir funkciniam skilvelių vertinimui, miokardo gyvybingumui ir audinių charakterizavimui [1]. Įrodyta, kad iš visų vaizdo gavimo metodų širdies MRT yra tiksliausias tyrimas vertinant širdies masę, tūrį ir mechaninę funkciją, [2; 3] taip pat lyginant MRT ir kompiuterinės tomografijos (KT) tyrimus MRT pasižymi jonizuojančios spinduliuotės nebuvimu, geresniu skilvelių funkcijos, kraujo tėkmės ir audinių vertinimu [4].

Magnetinio rezonanso tomografijos panaudojimo galimybės klinikinėje praktikoje plečiasi, kartu su atsirandančiomis naujomis MRT sekomis, naujais tyrimo metodais, dirbtinio intelekto pritaikymu. Šios technologijos didina galimybę gauti platesnį informacijos spektrą, geresnę vaizdų kokybę naudojant MRT metodą. MRT tyrimas tapo nepakeičiamu vaizdo gavimo metodu diagnozuojant, taikant įvairias gydymo priemones, stebint pacientus sergančius išemine širdies liga, miokarditu ir kardiomiopatijomis [5].

2. Tyrimo objektas ir metodai

Mokslinės literatūros šaltinių paieškai pasirinktos publikacijų duomenų bazės: „PubMed“ ir „Web of Science“. Publikacijos rinktos naudojant pasirinktus raktažodžius: širdies magnetinio rezonanso tomografija, širdies ligos, magnetinio rezonanso tomografija. Straipsnių atrankos kriterijai: publikacijos anglų, lietuvių kalbomis, atitinkančios tyrimo temą, ne senesnės nei 10 metų, paskelbtos nuo 2013 iki 2022 metų.

3. Rezultatai ir jų aptarimas

3.1 Pacientų, sergančių širdies ligomis, atranka MRT atlikimui

Pacientai, kuriems yra atliekamas MRT tyrimas paprastai serga pažengusiomis ir sudėtingesnėmis širdies ligomis. Dažniausiai MRT yra ne pirmo pasirinkimo diagnostikos metodas ir atliekamas kaip antraeilis tyrimas [6]. Tačiau naujausiose 2022 metų rugpjūčio mėnesį paskelbtose Europos kardiologų draugijos (EKD) gairėse rekomenduojama atlikti šį tyrimą pradinėse kardiomiopatijos ir uždegiminės širdies ligos stadijose [7]. Taigi, galime daryti išvadą, kad MRT tyrimo metodas pasirenkamas atsižvelgiant į kiekvieno paciento būklę ir ligos stadiją individualiai.

3.2 Širdies MRT indikacijos

Širdies MRT tyrimo metodas leidžia įvertinti miokardo išemiją – vertinama miokardo perfuzija, gyvybingumas, randas po išemijos, taip pat uždegimas ar infiltracija, pavyzdžiui, amiloidozė. Be to, MRT metodas yra naudojamas tolimesniam vožtuvų patologijos, perikardo, širdies navikų ir vainikinių arterijų anatomijos vertinimui [1].

MRT yra tikslus tyrimas vertinant dešinįjį skilvelį, nes jo sudėtinga forma ir retrosterninė padėtis apsunkina tikslingą jo vertinimą transtorakalinės echokardiografijos (TTE) metu [4]. Taip pat lyginant širdies MRT ir TTE, širdies MRT yra jautresnis ir specifiškesnis tyrimas intrakardinių trombų aptikimui, o „auksiniu standartu“ trombų nustatymui yra laikomas vėlyvojo gadolinio sustiprinimo režimas naudojant ilgą inversijos laiko metodą [8].

Naujausiose 2022 metų EKD gairėse buvo atnaujintos ir praktinės širdies MRT panaudojimo galimybės. Pirmo lygio rekomendacijose širdies MRT su vėlyvo gadolinio sustiprinimo režimu rekomenduojama atlikti staigų širdies sustojimą

išgyvenusiems pacientams be aiškios pagrindinės priežasties. Taip pat rekomendacijose išskirti Takotsubo sindromu ir vėžiu sergantys pacientai – jiems širdies MRT rekomenduojama atlikti, norint paneigti miokardo infarkto ir miokardito ligos galimybę [7].

3.2.1 Lėtinė vainikinių arterijų liga

Pacientams, kuriems įtariamos širdies ir kraujagyslių ligos MRT atliekamas ramybės būsenoje ir po farmakologinio streso tyrimo (galima naudoti tiek vazodilatatorius, kaip adenziną, ar inotropus – dobutaminą) siekiant įvertinti ar nėra išemijos [9]. Pagal 2019 metų Europos kardiologų draugijos gaires – didelė širdies ir kraujagyslių ligų įvykių rizika lėtine koronarine širdies liga sergantiems pacientams yra nustatoma, kai MRT tyrimo metu nustatoma ≥ 2 iš 16 segmentų disfunkcija kartu su streso tyrimo perfuzijos defektais ir ≥ 3 dobutamino indukuojami disfunkciniai segmentai [10].

Tyrimo metu yra vizualizuojama skilvelių sienelių kontrakcija sistolės ir diastolės metu, taip pat yra galimybė vertinti širdies kameras tūriniu būdu. Perfuzijos vertinimas MRT atliekamas naudojant gadolinio kontrastą [9].

Viename randomizuotame vieno centro „Wake Forest Baptist“ klinikiniame tyrime buvo tiriama pacientai su ūmiu krūtinės skausmu [11]. Nustačius vidutinę širdies ir kraujagyslių ligos įvykių riziką buvo atliekamas neinvazinis širdies MRT streso perfuzijos vertinimas. Tyrimo metu nustatyta, kad pacientams, sergantiems galimu ūmiu koronariniu sindromu, streso MRT sumažina vainikinių arterijų revaskuliarizacijos procedūras, pakartotiną patekimą į gydymo įstaigą ir kartotinus širdies tyrimus pacientams, kuriems per 90 dienų po stacionarinio gydymo nepasikartojo širdies ir kraujagyslių ligos įvykiai [11].

3.2.2 Neišeminė kardiomiopatija

MRT yra indikuotinas vaizdo gavimo metodas pacientams po atliktos echokardiografijos ir įtariamos neišeminės kardiomiopatijos siekiant diagnozuoti pagrindinę ligos priežastį, vertinti miokardo gyvybingumą bei funkciją. Šiuo atveju širdies MRT yra tikslesnis tyrimo metodas nei echokardiografija, kadangi MRT tyrimo metu galima vertinti širdies hipertrofijos dėsningumus, atskirti hipertrofinės kardiomiopatijos tipus, taip pat vertinti fibrozės buvimą naudojant vėlyvą gadolinio stiprinimo režimą. Fibrozės įvertinimas suteikia prognostinės informacijos, pacientams sergantiems kardiomiopatija [12].

Širdies MRT yra jautriausias tyrimo metodas vertinant aritmogeninę dešiniojo skilvelio kardiomiopatiją, kairiojo skilvelio nesutankinimo kardiomiopatiją, šio tyrimo metu taip pat galima aptikti viršūninę aneurizmą hipertrofinės kardiomiopatijos atveju [7].

3.2.3 Miokarditas

Ūminio miokardito diagnozę reikia įtarti pacientams, kuriems yra krūtinės skausmas ar širdies nepakankamumo simptomai, padidėjęs troponino kiekis ir (arba) echokardiografijos metu nustatyta nekoronarinė skilvelio disfunkcija ir nėra aiškių širdies išemijos požymių. Situacijose kada endomiokardo biopsija neatliekama, MRT tyrimas gali patvirtinti miokardito diagnozę [18; 19].

Miokardito diagnozę atliekant širdies MRT priklauso nuo to, ar tyrimo metu gautuose vaizduose randami mažiausiai du iš trijų ‘*Lake Louise*’ kriterijai – širdies audinio edema, hiperemija ir nekrozė [15].

3.2.4 Vožtuvų patologija

Vožtuvų patologijai vertinti MRT metodas gali būti pasirenkamas kaip antraeilis tyrimo metodas po echokardiografijos atlikimo, kai vaizdai yra neoptimalios kokybės bei transezofaginės echokardiografijos (TEE) tyrimo atlikti negalima. Širdies MRT metu vertinama vožtuvo funkcija, kraujo tėkmė pro vožtuvą, regurgitacija [16].

Svarbu paminėti, kad mažos ir labai judrios vožtuvų vegetacijos nėra gerai vizualizuojamos MRT tyrimo metu, dėl nepakankamos vaizdo skiriamosios gebos [17]. Todėl MRT tyrimas nėra indikuotinas endokardito diagnostikai.

3.2.5 Perikardo ligos

MRT leidžia tiesiogiai vizualizuoti perikardą, vertinti jo sustorėjimą, efuziją ir yra naudojamas pagrindinėms įtariamoms perikardo ligoms vertinti, tokioms, kaip pasikartojantis perikarditas, konstrikcinis perikarditas, naviko invazija ir įgimtam perikardo nebuvimui [18].

Įrodyta, kad perikardito nustatymo tikimybė naudojant MRT priklauso nuo amžiaus – maža ligos nustatymo tikimybė yra vyresniems nei 60 metų, o didesnė jaunesniems nei 40 metų pacientams. Taip pat svarbu paminėti, kad perikardo kalcifikacija nėra vizualizuojama atliekant širdies ir kraujagyslių MRT, tokiais atvejais KT tyrimas yra alternatyva [19].

3.2.6 Širdies navikas

Širdies MRT yra tinkamiausias tyrimas vertinti įtariamus širdies navikus, aptiktus echokardiografijos metu. MRT tyrimo metu yra galimybė vertinti naviko struktūrą ir perfuziją [20]. Pirmojo praėjimo miokardo perfuzijos tyrimo seka naudinga vertinant ir atskiriant gausiai vaskuliarizuotus navikus nuo mažiau vaskuliarizuotų ir nuo avaskulinių trombozų.

Tam tikromis MRT sekomis galima patikimai nustatyti riebalinius navikus, tokius kaip lipoma ar lipomatinė hipertrofija, taip pat yra galimybė indentifikuoti mases su daug vandens, pavyzdžiui, miksomas ar perikardo cistas [21].

3.2.7 Vainikinių arterijų stenozės vertinimas

Šiuo atveju lyginant kompiuterinės tomografijos (KT) angiografijos ir magnetinio rezonanso tomografijos tyrimų trukmę, erdvinę skiriamąją gebą ir tyrimo jautrumą – KT angiografija yra tikslesnis tyrimo metodas vertinti vainikinių arterijų stenozę. Nustatyta, kad vainikinių arterijų MRT yra mažiau tikslus nei KT diagnozuojant kliniškai reikšmingas (≥ 50 proc.) vainikinių arterijų stenozes [22].

3.2.8 Vainikinių arterijų aneurizmos, Kawasaki liga

Pacientams turintiems kliniškai reikšmingą vainikinių arterijų aneurizmą, vien echokardiografijos tyrimo atlikimo gali nepakakti, kad pilnai būtų įvertintas ligos mastas. Tuo tikslu širdies KT ir MRT dažnai naudojami kaip didelės raiškos tyrimai vainikinių arterijų vaizdams gauti. MRT tyrimo metodas lyginant su KT yra pranašesnis vertinant vainikinių arterijų distalius pažeidimus. MRT yra naudingas diagnozuojant 3 ūminio aortos sindromo variantus: aortos disekaciją, intramuralinę hematomą ir penetruojančią aortos opą [26; 27].

3.2.9 Širdies nepakankamumas (ŠN)

Iki šiol geriausias ŠN vertinimo metodas yra transezofaginė echokardiografija, tačiau šis tyrimas susijęs su komplikacijomis, tokiomis kaip kraujavimas iš virškinamojo trakto, disfagija ir kitomis. Vietoj to klinikinėje praktikoje dažniausiai naudojama transtorakalinė echokardiografija, tačiau

iki 50 proc. ji yra klaidinga [25]. Naujausias tyrimas rodo, kad širdies nepakankamumo diagnostikoje svarbią vietą gali atlikti širdies MRT, kurios diagnostinė vertė buvo didesnė už TTE tyrimo, kadangi MRT matymo laukas suteikė geresnį struktūrinių anomalijų ir funkcijos įvertinimą. Tyrimo metu nustatyta, kad fiziologinis MRT modelis gali įvertinti kairiojo skilvelio prisipildymo spaudimą pacientams, kuriems įtariamas ŠN, taip pat MRT tyrimo metu įvertintas kairiojo skilvelio prisipildymo spaudimas turėjo prognostinę reikšmę [26].

3.2.10 Įgimta širdies liga

Širdies ir kraujagyslių MRT yra tinkamas tyrimas įgimtos širdies ligos diagnostikos vertinimui – gera vaizdų kokybė leidžia įvertinti anatominius ryšius tarp širdies ir kraujagyslių struktūrų. Naujagimiams ir mažiems vaikams echokardiografija yra pradinis vaizdo gavimo būdas, tačiau vėliau po operacijos, kada dėl surandėjusio audinio ultragarsinis tyrimas nėra optimalus, širdies ir kraujagyslių MRT yra tinkamiausias vaizdo gavimo būdas [27].

MRT tyrimo metu galima nustatyti atvirą arterinį lataką, prieširdžių ar skilvelių pertvaros defektą, visiškai anomalų plaučių venų drenažą [27; 28].

3.3 MRT kontraindikacijos ir nepageidaujamas poveikis

Dažnos magnetinio rezonanso tomografijos kontraindikacijos yra metaliniai ar elektriniai implantai, prietaisai ar svetimkūniai, ypatingai esantys arti akių ar didžiųjų kraujagyslių [29]. Šiuo metu širdies implantai nebėra laikomi absoliučiomis kontraindikacijomis atlikti MRT, tais atvejais kai implantai ar prietaisai nėra laikomi nesaugiais MRT tyrimo atlikimui. Dabartinės / naujos kartos širdies stimulatoriai turi tinkamas technines specifikacijas, todėl galima saugiai atlikti

MRT tyrimą, net ir nuo širdies stimulatoriaus priklausomiems pacientams [30].

Misūrio medicinos mokyklos universitete buvo atliktas stebėjimo tyrimas su 209 pacientais, kurie turėjo implantuotą elektrinį širdies prietaisą [31]. Visiems pacientams, naudojant specialiai universitete įdiegtą programinę įrangą, prietaisai, saugiam širdies MRT atlikimui, buvo perpragromuoti į MRT naudojimui saugų režimą nuotoliniu būdu. Šio tyrimo metu nei vienas pacientas nepatyrė nepageidaujamo poveikio, širdies įrenginių veikla nebuvo sutrikdyta ir pasibaigus tyrimui visi parametrai buvo atstatyti į pradinius. Taip pat tyrimo metu buvo stebėta, kad kiekvienam pacientui MRT tyrimo trukmė sutrumpėjo nuo 18 iki 38 minučių, įskaitant visą pasiruošimo laiką [31].

Svarbu paminėti ir išskirti, kad visais atvejais rekomenduojama vertinti MRT tyrimo diagnostinę ir terapinę naudą kiekvienam pacientui individualiai. Rekomenduojama atvejais, kada MRT tyrimas yra indikuotinas ir pacientas turi implantuotą širdies stimulatorių ar kardioverterių defibriliatorių naudoti skaitytuvą su mažo magnetinio lauko stiprumu [32]. Tiriant šią pacientų grupę svarbu imtis atsargumo priemonių ir tyrimo metu nuolat sekti paciento sąmonę, širdies susitraukimų dažnį, kraujo spaudimą ir kraujo prisotinimą deguonimi. Visos procedūros metu turi būti palaikomas vizualinis ir garsinis kontaktas su pacientu [33].

Širdies stimulatoriai yra arti širdies, todėl vaizdo kokybė gali nukentėti nuo artefaktų, ypatingai nustatyta, kad vaizdus sudėtinga vertinti sekose *phase-sensitive inversion recovery (PSIR)* ir *steady-state free precession (SSFP)*, kurios yra naudojamos vėlyvo gadolinio sustiprinimo sekose ir širdies funkcijos vertinime [34].

Kontrastinė medžiaga gadolinis širdies magnetinio rezonanso tomografijos metu, neskiriamas pacientams su sunkiu inkstų nepakankamumu, kada apskaičiuotas glomerulų filtracijos greitis $<30 \text{ ml/min/1.73m}^2$ arba tiems, kurių inkstų funkcija ūmiai blogėja. Gadolinis taip pat yra kontraindikuotinas nėštumo metu, ypač pirmąjį nėštumo trimestrą, kadangi ši kontrastinė medžiaga prasiskverbia pro placentą ir vaisius išskiria per inkstus [12; 13].

MRT tyrimo atlikimo laikas yra ilgas – trunka apie 40 – 60 minučių. Dėl atsiradusio nereguliaraus širdies ritmo ir kvėpavimo gali pablogėti vaizdų kokybė ir tyrimo laikas prailgti [20].

4. Išvados

Širdies magnetinio rezonanso tomografijos tyrimas atlieka svarbų vaidmenį diagnozuojant širdies ligas. MRT suteikia naudingos informacijos vertinant miokardo audinį ir funkciją. Vertinama miokardo perfuzija, gyvybingumas, infiltracijos, vožtuvų, vainikinių kraujagyslių patologijos. Absoliučiai kontraindikacijų atlikti MRT tyrimą mažėja, tačiau vis dar išlieka metaliniai, elektriniai prietaisai ar kiti implantai, kurie nėra pritaikyti šio tyrimo atlikimui. Gadolinio kontrastas kontraindikuotinas nėščiosioms ir pacientams su sunkiu inkstų pažeidimu. MRT tyrimo metodas pasirenkamas atsižvelgiant į kiekvieno paciento būklę individualiai. MRT tyrimo pritaikymo galimybes vertinant širdies patologijas plečiasi.

Literatūros šaltiniai

1. Russo V, Lovato L, Ligabue G. Cardiac MRI: technical basis. *Radiologia Medica*. 2020 Nov 1;125(11):1040–55.
2. Bauer WR. Cardiac MRI today. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*. 2021 Mar 1;146(5):344–50.
3. Seetharam K, Lerakis S. Cardiac magnetic resonance imaging: the future is bright. *F1000Res*. 2019;8.

4. Leiner T, Bogaert J, Friedrich MG, Mohiaddin R, Muthurangu V, Myerson S, Powell AJ, Raman S v., Pennell DJ. SCMR Position Paper (2020) on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2020 Dec 1;22(1).

5. Busse A, Rajagopal R, Yücel S, Beller E, Öner A, Streckenbach F, Cantré D, Ince H, Weber MA, Meinel FG. Cardiac MRI—Update 2020. *Radiologe*. 2020 Nov 1;60(1):33–40.

6. Von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Schulz-Menger J. Role of cardiovascular magnetic resonance in the guidelines of the European Society of Cardiology. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2016 Jan 22;18(1).

7. Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, de Riva M, Winkel BG, Behr ER, Blom NA, Charron P, Corrado D. and others. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. Developed by the task force for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* [Internet]. 2022 Aug 26 ;

8. Hooks M, Okasha O, Velangi PS, Nijjar PS, Farzaneh-Far A, Shenoy C. Left ventricular thrombus on cardiovascular magnetic resonance imaging in non-ischaemic cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* [Internet]. 2021 Nov 22;22(12):1425–33.

9. Baritussio A, Scatteia A, Dellegrottaglie S, Bucciarelli-Ducci C. Evidence and Applicability of Stress Cardiovascular Magnetic Resonance in Detecting Coronary Artery Disease: State of the Art. *J Clin Med*. 2021 Aug 1;10(15).

10. Neumann FJ, Sechtem U, Banning AP, Bonaros N, Bueno H, Bugiardini R, 2019 ESC Guidelines

for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2020 Jan 14;41(3):407–77.

11. Miller CD, Case LD, Little WC, Mahler SA, Burke GL, Harper EN, Lefebvre C, Hiestand B, Hoekstra JW, Hamilton CA, Hundley WG. Stress CMR reduces revascularization, hospital readmission, and recurrent cardiac testing in intermediate-risk patients with acute chest pain. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013 Jul;6(7):785–94.

12. Lipshultz SE, Law YM, Asante-Korang A, Austin ED, Dipchand AI, Everitt MD, Hsu DT, Lin KY, Price JF, Wilkinson JD, Colan SD. Cardiomyopathy in Children: Classification and Diagnosis: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2019 Jul 2;140(1):E9–68.

13. Lampejo T, Durkin SM, Bhatt N, Guttman O. Acute myocarditis: aetiology, diagnosis and management. *Clinical Medicine*. 2021 Sep 1;21(5):e505–10.

14. Ammirati E, Veronese G, Cipriani M, Moroni F, Garascia A, Brambatti M, Adler ED, Frigerio M. Acute and Fulminant Myocarditis: a Pragmatic Clinical Approach to Diagnosis and Treatment. *Curr Cardiol Rep*. 2018 Nov 1;20(11).

15. Gannon MP, Schaub E, Grines CL, Saba SG. State of the art: Evaluation and prognostication of myocarditis using cardiac MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2019 Jun 1;49(7):e122–31.

16. Søggaard SB, Gustavsen P, Dalsgaard M, Vejlsstrup NG, Madsen PL. Cardiac magnetic resonance imaging with standard imaging planes for mitral valve scallop pathology: interrater agreement and comparison with echocardiography. *The International Journal of Cardiovascular Imaging* 2020 37:2. 2020 Sep 24;37(2):605–11.

17. Mathew RC, Löffler AI, Salerno M. Role of Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Valvular Heart Disease: Diagnosis, Assessment, and Management. *Curr Cardiol Rep [Internet]*. 2018 Sep 9;20(11):119.

18. McNamara N, Ibrahim A, Satti Z, Ibrahim M, Kiernan TJ. Acute pericarditis: a review of current diagnostic and management guidelines. 2019 Mar 8;15(2):119–26.

19. Morgenstern D, Kley J, Lisko J, Shivers L, Mikolich B, Ronald Mikolich J, Regional Health S. Chest pain in patients under age 40: are we getting it right? *J Am Coll Cardiol*. 2015 Mar 17;65(10):A1298.

20. Poterucha TJ, Kochav J, O'Connor DS, Rosner GF. Cardiac Tumors: Clinical Presentation, Diagnosis, and Management. *Curr Treat Options Oncol*. 2019 Aug 1;20(8).

21. Pazos-López P, Pozo E, Siqueira ME, García-Lunar I, Cham M, Jacobi A, Macaluso F, Fuster V, Narula J, Sanz J. Value of CMR for the differential diagnosis of cardiac masses. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2014;7(9):896–905.

22. Dweck MR, Puntman V, Vesey AT, Fayad ZA, Nagel E. MR Imaging of Coronary Arteries and Plaques. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016 Mar 1;9(3):306–16.

23. Bratis K, Hachmann P, Child N, Krasemann T, Hussain T, Mavrogeni S, Botnar R, Razavi R, Greil G. Cardiac magnetic resonance feature tracking in Kawasaki disease convalescence. *Ann Pediatr Cardiol*. 2017 Jan 1;10(1):18.

24. McCrindle BW, Rowley AH, Newburger JW, Burns JC, Bolger AF, Gewitz M, Baker AL, Jackson MA, Takahashi M, Shah PB, Kobayashi T, Wu MH, Saji TT, Pahl E. Diagnosis, Treatment, and Long-Term Management of Kawasaki Disease: A Scientific Statement for Health Professionals From the American Heart Association. *Circulation*. 2017 Apr 25;135(17):e927–99.

25. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, Deswal A, Drazner MH, Dunlay SM, Evers LR, Fang JC, Fedson SE, Fonarow GC, Hayek SS, Hernandez AF, Khazanie P, Kittleson MM, Lee CS, Link MS, Milano CA, Nwacheta LC, Sandhu AT, Stevenson LW, Vardeny O, Vest AR, Yancy CW. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2022 May 3;145(18):E895–1032.
26. Garg P, Gosling R, Swoboda P, Jones R, Rothman A, Wild JM, Kiely DG, Condliffe R, Alabed S, Swift AJ. Cardiac magnetic resonance identifies raised left ventricular filling pressure: prognostic implications. *Eur Heart J*. 2022 May 4;00:1–12.
27. Roy CW, van Amerom JFP, Marini D, Seed M, Macgowan CK. Fetal Cardiac MRI: A Review of Technical Advancements. *Topics in Magnetic Resonance Imaging* [Internet]. 2019 Oct 1;28(5):235.
28. Driessen MMP, Breur JMPJ, Budde RPJ, van Oorschot JWM, van Kimmenade RRJ, Sieswerda GT, Meijboom FJ, Leiner T. Advances in cardiac magnetic resonance imaging of congenital heart disease. *Pediatr Radiol* [Internet]. 2015 Jan 1;45(1):5–19.
29. Caraiani C, Petresc B, Dong Y, Dietrich CF. Contraindications and adverse effects in abdominal imaging. *Med Ultrason*. 2019;21(4):456–63.
30. Sommer T, Bauer W, Fischbach K, Kolb C, Luechinger R, Wiegand U, Lotz J, Eitel I, Gutberlet M, Thiele H, Schild HH, Kelm M, Quick HH, Schulz-Menger J, Barkhausen J, Bänsch D. MR Imaging in Patients with Cardiac Pacemakers and Implantable Cardioverter Defibrillators. *RoFo Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Bildgebenden Verfahren*. 2017 Jan 31;189(3):204–17.
31. Siddamsetti S, Shinn A, Gautam S. Remote programming of cardiac implantable electronic devices: A novel approach to program cardiac devices for magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Electrophysiol* [Internet]. 2022 May 1; 33(5):1005–9.
32. Kanal E, Barkovich AJ, Bell C, Borgstede JP, Bradley WG, Froelich JW, Gimbel JR, Gosbee JW, Kuhni-Kaminski E, Larson PA, Lester JW, Nyenhuis J, Schaefer DJ, Sebek EA, Weinreb J, Wilkoff BL, Woods TO, Lucey L, Hernandez D. ACR guidance document on MR safe practices: 2013. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2013 Mar 1;37(3):501–30.
33. Beitzke D. Safe MRI examinations in patients with pacemakers and ICD. *Radiologe*. 2019 Oct 1;59(10):885–93.
34. Klein-Wiele O, Garmer M, Busch M, Mateiescu S, Urbien R, Barbone G, Kara K, Schulte-Hermes M, Metz F, Hailer B, Grönemeyer D. Cardiovascular magnetic resonance in patients with magnetic resonance conditional pacemaker systems at 1.5 T: influence of pacemaker related artifacts on image quality including first pass perfusion, aortic and mitral valve assessment, flow measurement, short tau inversion recovery and T1-weighted imaging. *International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2017 Mar 1;33(3):383–94.
35. Currie GM. Pharmacology, Part 5: CT and MRI Contrast Media. *J Nucl Med Technol*. 2019 Sep 1;47(3):189–202.
36. Sawlani RN, Collins JD. Cardiac MRI and Ischemic Heart Disease: Role in Diagnosis and Risk Stratification. *Curr Atheroscler Rep*. 2016 May 1;18(5).