


e-ISSN: 2345-0592 <b>Online issue</b> Indexed in <i>Index Copernicus</i>	<b>Medical Sciences</b>  Official website: <a href="http://www.medicosciences.com">www.medicosciences.com</a>	
--	--	---

## Cardiac magnetic resonance imaging: recent advances and future directions

Laurynas Miščikas<sup>1</sup>, Aleksandra Kubiliūtė<sup>1</sup>, Martynas Bučnius<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Medicine, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania

<sup>2</sup> Department of Cardiology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania

### Abstract

**Background.** Over the past two decades, cardiac magnetic resonance imaging (CMR) has been rapidly evolving and has now become the gold standard method for evaluation of cardiac chamber volumes and ejection fraction. Moreover, CMR is a valuable diagnostic tool for the characterization of cardiac tissue. Despite its diagnostic capabilities, CMR is still in development.

**Objectives.** The aim of this article is to review innovations in CMR imaging as well as recent clinical trials.

**Methods.** A systemic review of literature was performed using databases: Pubmed, ClinicalKey and ScienceDirect. Certain keywords were used to find relevant medical publications of the latest years.

**Conclusion.** Recent technological advances and large clinical trials have promoted changes in diagnostic algorithms of various diseases and increased its role in cardiac imaging. Novel CMR techniques, such as T1 and T2 mapping, enable to quantitatively visualize cardiac tissue disturbances such as infiltration, fibrosis or edema. Myocardial functional changes can be detected with even more precise methods using myocardial strain analysis. Moreover, artificial intelligence has been actively developed in the imaging field, including CMR, and it is believed to become an important part of everyday practice.

**Keywords:** cardiac magnetic resonance imaging, T1 mapping, T2 mapping, myocardial strains, artificial intelligence.

# Širdies magnetinio rezonanso tyrimas: naujovės ir ateities perspektyvos

Laurynas Miščikas<sup>1</sup>, Aleksandra Kubiliūtė<sup>1</sup>, Martynas Bučnius<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Medicinos fakultetas, Medicinos akademija, Lietuvos Sveikatos Mokslų Universitetas, Kaunas, Lietuva

<sup>2</sup> Kardiologijos klinika, Medicinos akademija, Lietuvos Sveikatos Mokslų Universitetas, Kaunas, Lietuva

## Santrauka

**Įvadas.** Per pastaruosius du dešimtmečius širdies magnetinio rezonanso tyrimas (ŠMRT) buvo sparčiai tobulinamas ir tapo svarbiu diagnostikos instrumentu kasdienėje kardiologijos praktikoje. ŠMRT yra neinvazinis tyrimo metodas, kurio pagalba galima tiksliai išmatuoti širdies ertmių tūrius, įvertinti miokardo funkciją bei charakterizuoti širdies audinius. Nepaisant plačių ŠMRT diagnostikos galimybių, šis tyrimo metodas yra toliau tobulinamas.

**Tikslas.** Apžvelgti naujoves ŠMRT srityje bei pristatyti naujausius didelių imčių klinikinius tyrimus.

**Metodai.** Literatūros apžvalga buvo atlikta naudojantis duomenų bazėmis: PubMed, ClinicalKey, ScienceDirect. Paieškai buvo naudojami specifiniai raktiniai žodžiai. Peržiūrėjus aktualiausias publikacijas buvo atrinkti, autorių nuomone, geriausiai temą atskleidžiantys straipsniai ir atlikta jų literatūros analizė.

**Išvados.** Technologinės inovacijos ir naujausi klinikiniai tyrimai leido išplėsti ŠMRT panaudojimo galimybes bei sustiprinti šio tyrimo vaidmenį daugelio širdies ir kraujagyslių sistemos ligų diagnostikoje. Viena iš pagrindinių pastarųjų metų naujovių – tai T1 ar T2 relaksacijos laikų žymėjimo sekos, kurios leidžia detalai vizualizuoti širdies audinių pokyčius, nulemtus infiltracijos, fibrozės ar edemos. Dar viena inovacija vertinant miokardo funkcinius pokyčius – miokardo įtampos rodiklių nustatymas, kuris suteikia galimybę aptikti ankstyvus širdies disfunkcijos požymius. Sparti dirbtinio intelekto pažanga vaizdinių tyrimų srityje leidžia tikėtis, jog netolimoje ateityje jis taps neatsiejama klinikinės praktikos dalimi.

**Raktiniai žodžiai:** širdies magnetinis rezonansas, T1 relaksacijos laikų žymėjimas, T2 relaksacijos laikų žymėjimas, miokardo įtampa, dirbtinis intelektas.

## Ižanga

Pastaraisiais metais širdies magnetinio rezonanso tyrimas (ŠMRT) tapo svarbia diagnostikos dalimi nustatant širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) ligas. Šiuo metu ŠMRT pripažintas „auksinio standarto“ metodu neinvazyviam kairiojo ir dešiniojo skilvelio tūrio matavimui bei kairiojo skilvelio išstūmimo frakcijos (KSIF) nustatymui [1]. Taip pat, šis vaizdinis tyrimas pasižymi didele skiriamąja geba charakterizuojant širdies audinius bei nustatant miokardo gyvybingumą, todėl gali būti naudingas daugelio širdies ligų diagnostikoje [2]. Naujausi didelių imčių klinikiniai tyrimai padėjo tiksliau apibrėžti ŠMRT vaidmenį širdies ir kraujagyslių ligų diagnostiniuose algoritmuose bei šį tyrimo metodą plačiau pritaikyti kasdienėje praktikoje. Vienas iš pavyzdžių – 2019 m. Europos kardiologų draugijos atnaujintos lėtinio koronarinio sindromo diagnostikos gairės, kuriose ŠMRT buvo įtrauktas į pradiniam diagnostikos etape rekomenduojamų tyrimų sąrašą [3]. Sparčiai tobulėjant technologijoms ir programinei įrangai, į klinikinę praktiką integruojami nauji tyrimo metodai ir technikos, tokios kaip miokardo įtampos rodiklių nustatymas ar T1 ir T2 relaksacijos laikų žymėjimo sekos [4]. ŠMRT srityje toliau aktyviai ieškoma inovatyvių sprendimų, o vienas jų – dirbtinis intelektas, kuris, tikėtina, kad atvers papildomas diagnostikos galimybes ateityje bei išspręs dalį esamų ŠMRT trūkumų [5].

## Metodika

Literatūros paieškai buvo naudotos tarptautinės duomenų bazės *PubMed*, *ClinicalKey*, *ScienceDirect*. Paieškos metu naudoti raktiniai žodžiai ir jų kombinacijos: širdies magnetinio rezonanso tyrimas, inovacijos, dirbtinis intelektas, diagnostikos naujovės. Atrinkti autorių nuomone aktualiausi paskutinių 5 metų straipsniai ir atlikta jų literatūros apžvalga. Taip pat, apžvelgti naujausi didelių imčių klinikiniai tyrimai, vykdyti pastarųjų 10 metų laikotarpyje.

## Naujų ŠMRT metodų pritaikymas klinikinėje praktikoje

Naujos ŠMRT technikos, tokios kaip T1 ar T2 relaksacijos laikų žymėjimo sekos, suteikia galimybę vizualizuoti kiekybinius širdies audinio pokyčius sergant įvairiomis ligomis. Šis tyrimo metodas leidžia tiksliai nustatyti intraląstelinius kardiomiocitų pokyčius, tokius kaip geležies ar glikosfingolipidų sankaupos, miokardo intersticiumo pokyčius, tokius kaip amiloido infiltracija ar fibrozė, bei pokyčius, apimančius tiek ląsteles, tiek intersticiumą (*žr. I lentelę*) [6]. Dar vienas pranašumas prieš rutininius tyrimus T1, T2 ar T2\* režimais yra tai, jog miokardo pokyčiai gali būti aptikti nepriklausomai nuo jų išplitimo laipsnio. Kitas į klinikinę praktiką integruojamas metodas yra miokardo įtampos rodiklių nustatymas, kuris turi akivaizdžių pranašumų prieš KSIF nustatant širdies funkciją [7]. KSIF – tai išvestinis dydis, priklausomas nuo galinio sistolinio ir diastolinio kairiojo skilvelio tūrių ir daugiausiai atspindintis globalią sistolinę funkciją. Nustatyta, kad KS funkcija labiausiai

priklausoma nuo miokardo skaidulų pokyčių, t.y. trumpėjimo, storėjimo ir rotacijos. Miokardo deformavimosi rodikliai, tokie kaip išilginė, apskutinė ir žiedinė įtampa, leidžia nustatyti šiuos KS mechaniką atspindinčius parametrus, todėl gali būti laikomas jautresniu tyrimu vertinant širdies funkciją [8].

### **T1 relaksacijos laikų žymėjimo sekos (*angl. T1 mapping*)**

T1 relaksacijos laikų žymėjimas yra kiekybinis miokardo vertinimo metodas, kurio metu nustatomi kiekvieno miokardo pikselio relaksacijos laikai ir sudaromas gautų reikšmių žemėlapis, kuris turi didelę diagnostinę vertę [9]. Pastaraisiais dešimtmečiais fibrozės židiniams nustatyti buvo naudojami vėlyvieji gadolinio sustiprinti vaizdai. Nors šis tyrimas yra vertingas, jo pagalba galima aptikti tik gerai išreikštas pažeidimo zonas, kuriose fibroziniai procesai yra negrįžtami. Taip pat taikant šį metodą būtina turėti sveiko miokardo zoną, kuri galėtų būti referentiniu tašku ją lyginant su pažeistais miokardo regionais. Dėl šios priežasties difuziškai išplitę miokardo pakitimai likdavo nediagnozuojami, tačiau T1 žemėlapiai gali padėti aptinkant šiuos pokyčius [4]. T1 relaksacijos laikų žymėjimas prieš suleidžiant kontrastinę medžiagą padeda nustatyti ankstyvas amiloido sankaupas, kurios dar nesukėlė akivaizdžių pokyčių vėlyvo gadolinio kaupimo sekose. Išplitusi širdies audinio fibrozė bei padidėjusios T1 reikšmės yra stebimos dilatacine kardiomiopatija sergantiems pacientams [10]. Priešingai, T1 reikšmių sumažėjimas dėl glikosfingolipidų sancaupų yra būdingas pacientams, sergantiems Anderson-Fabry liga [10,11].

Atlikus T1 relaksacijos laikų žymėjimą prieš ir po kontrastinės medžiagos suleidimo, atsiranda galimybė apskaičiuoti ekstraląstelinio miokardo tūrio (ELT) pasiskirstymo frakciją [10]. Dėl miokardo fibrozės kontrastine medžiaga sustiprintose sekose yra stebimi ženkliai sutrumpėję T1 relaksacijos laikai, todėl ELT apskaičiavimas suteikia galimybę diferencijuoti fibrozinius pokyčius jautriau nei natyvinės T1 relaksacijos laikų žymėjimo sekos. Dėl šios priežasties ELT gali būti laikomas savarankišku miokardo fibrozės nustatymu metodu, turinčiu prognostinę vertę širdies ir kraujagyslių sistemos ligų diagnostikoje [12]. Tačiau ekstraląstelinio tūrio kaip savarankiško nepriklausomo prognostinio veiksnio, lemiančio nepageidaujamas išėitis, patvirtinimui reikalingi papildomi didelių imčių klinikiniai tyrimai. Nors standartizacijos ir referentinių reikšmių nustatymo trūkumas vis dar riboja T1 relaksacijos laikų žymėjimo sekų pritaikymą kasdieninėje praktikoje, šis metodas palaipsniui tampa vis dažnesne ŠMRT dalimi [4].

### **T2 relaksacijos laikų žymėjimo sekos (*angl. T2 mapping*)**

T2 relaksacijos laikų žymėjimas – tai dar vienas perspektyvus tyrimo metodas, padedantis jautriau nei įprastinės T2 sekos nustatyti miokardo uždegiminiuosius pokyčius bei edemą. Daugėja įrodymų, jog T2 relaksacijos laikų nustatymas gali aptikti ūmaus uždegimo požymius miokardo zonose, kuriose įprastinio T2 režimo vaizdai jo neaptinka [13]. Šie pranašumai yra svarbūs ieškant optimalaus neinvazinio tyrimo metodo miokardo uždegiminiams pokyčiams nustatyti. Dabartinėse diagnostikos gairėse šio tyrimo

indikacijos yra ūmus miokarditas, sarkoidozė, su miokardo infarktu susiję uždegiminiai pokyčiai, priešvėžinių vaistų sukulto kardiotoksiškumo nustatymas ir transplantuotos širdies atmetimo reakcijos [10].

### **T2\* relaksacijos laikų žymėjimų sekos (angl. T2\* mapping)**

Talasemija – tai įgimta kraujo liga, kurią sukelia hemoglobino grandinių sintezės sutrikimas, dėl kurio vystosi hemolizinė anemija. Šių pacientų gydymui reikalingos kraujo transfuzijos, kurios ilgai gali sąlygoti geležies kaupimąsi įvairiuose organuose, įskaitant širdį. Dėl to dažniausios talasemija sergančių pacientų mirties priežastys yra širdies nepakankamumas

bei širdies ritmo sutrikimai [14]. Tradiciniai vaizdiniai tyrimo metodai turi ribotas galimybes nustatyti šią ligą ankstyvose stadijose, nes širdies audinio įtraukimas pastebimas tik pasireiškus skilvelių funkcijos sutrikimams, kurie yra vėlyvos ligos stadijos požymis. T2\* relaksacijos laikų žymėjimas leidžia aptikti ir kiekybiškai nustatyti geležies sankaupas ankstyvose ligos stadijose ir anksčiau pradėti tinkamą gydymą [15].

T2\* relaksacijos laikų žymėjimo sekos buvo pradėtos naudoti aptinkant intramiokardines hemoragijas, kurios tikėtina, jog gali tapti svarbiu nepageidaujamas išėjis prognozuojančiu žymeniu pacientams, sergantiems ūminiu miokardo infarktu, tačiau tam reikia papildomų klinikinių tyrimų [16].

1 lentelė. Klinikinis T1, T2 ir T2\* relaksacijos laikų žymėjimo pritaikymas diagnozuojant miokardo pokyčius.

Miokardo pokyčiai		T1	ELT	T2	T2*
<b>Infiltracija</b>	Geležies sankaupos	+	—	+	++
	Amiloido sankaupos	++	++	—	—
	Anderson-Fabry liga	++	—	+	—
<b>Ūmus miokardo infarktas</b>	Edema	++	+	++	—
	Nekrozė	++	++	+	++
	Hemoragijos	+	—	+	++
<b>Fibrozė</b>	Išplitusi	+	++	—	—
	Lokali	+	++	—	—

ELT – ekstraląstelinis tūrio nustatymas, ++ - tyrimas naudingas, + - tyrimas galimai naudingas, — - tyrimas nenaudingas arba jo reikšmė nežinoma.

### Miokardo įtampos rodiklių nustatymas (*angl. strain imaging*)

Miokardo įtampos rodiklių nustatymas ŠMRT metu – tai nauja diagnostinė technika, padedanti atlikti detalesnę miokardo funkcijos vertinimą. Klinikinėje praktikoje įprasta, jog širdies funkcija yra vertinama atsižvelgiant į kairiojo skilvelio išstūmimo frakciją, tačiau šis parametras turi nemažai trūkumų, tokių kaip neoptimalus atkuriamumas ar negebėjimas įvertinti regioninių kairiojo skilvelio funkcijos sutrikimų [7]. Miokardo deformavimosi rodiklių pokyčiai leidžia aptikti besimptomį kairiojo skilvelio funkcijos sutrikimą prieš atsirandant akivaizdiems regioninės kontrakcijos pokyčiams bei sumažėjant kairiojo skilvelio išmetimo frakcijai [17]. Miokardo įtampos rodikliai gali būti nustatyti keliais skirtingais metodais, tačiau šiuo metu klinikinėje praktikoje validuotas ir dažniausiai naudojamas yra miokardo žymėjimas tinkleliu (*angl. CMR tagging*) [18]. Klinikiniais tyrimais buvo nustatyta, jog kairiojo skilvelio įtampos rodikliai, nustatyti vazodilatacinių preparatų vartojimo metu, yra nepriklausomi žymenys, galintys prognozuoti nepageidaujamų kardiovaskulinių įvykių riziką [19]. Dabartinis vykstančių klinikinių tyrimų tikslas yra referentinių reikšmių nustatymas ir skirtingų matavimo technikų, nustatančių miokardo įtampą, palyginimas [4].

### Diagnostinių miokardito kriterijų atnaujinimas

Miokarditas – tai uždegiminė miokardo liga, kuri dėl praeinančių krūtinės skausmų gali imituoti ūminį koronarinį sindromą ar netgi sukelti gyvybei pavojingas skilvelines aritmijas. Viena pagrindinių miokardito diagnostikos sudedamųjų dalių yra širdies magnetinio rezonanso tyrimas, kurio metu nustatyti pokyčiai ilgą laiką buvo interpretuojami vadovaujantis 2009 metais nustatytais Lake Louise kriterijais. Pagal šiuos kriterijus miokardito diagnozės pagrindimui reikėjo nustatyti bent du iš trijų būdingų požymių: miokardo edemą T2 sekose, globalų ankstyvą gadolinio kaupimą ar vieno regiono ne išeminio pobūdžio pažaidą vėlyvo gadolinio kaupimo vaizduose [20]. Tačiau buvo pastebėta, jog šie diagnostiniai kriterijai daliai pacientų yra nepakankamai jautrūs, o ankstyvo gadolinio kaupimo vaizdų interpretacija yra sudėtinga [21]. Dėl to Lake Louise diagnostiniai kriterijai buvo dar kartą peržiūrėti ir patikslinti 2018 metais ir į juos buvo įtrauktos labiau kompleksiškos T1 ir T2 relaksacijos laikų žymėjimo sekos. Naujieji kriterijai yra suskirstyti į pagrindinius ir papildomus, o pagrindinius sudaro du kriterijai: pirmasis - tai regioninis ar globalus T2 relaksacijos laikų ar T2 signalo intensyvumo padidėjimas, antrasis - ne išeminio pobūdžio pažaida su globaliu T1 relaksacijos laikų padidėjimu arba ekstraląstelinio tūrio padidėjimu arba ne išeminės pažaidos vaizdai vėlyvo gadolinio kaupimo režime. Esant kiekvieno pagrindinio kriterijaus po bent vieną požymį, reikšmingai padidėja jų specifiškumas diagnozuojant ūmų

miokarditą, o kurio nors vieno iš pagrindinių kriterijų buvimas gali patvirtinti diagnozę esant būdingam klinikiniam vaizdui. Papildomi šiuo sutarimu nustatyti kriterijai apima perikardito požymius, tokius kaip skystį perikarde ar nenormalaus intensyvumo signalus T1, T2 ar vėlyvo gadolinio kaupimo sekose [21].

### **ŠMRT saugumo reikalavimų pokyčiai pacientams, turintiems širdies stimuliatorių**

Ilgėjant vidutinei numatamai gyvenimo trukmei ir daugėjant pacientų su implantuojamais širdies prietaisais, poreikis atrasti tikslų bei saugų vaizdinį tyrimą šių pacientų priežiūrai didėja. Daug metų buvo įprasta, jog pacientams, turintiems implantuotus širdies prietaisus, ŠMRT buvo kontraindikuotinas dėl įvairių pranešimų, susijusių su rimtomis komplikacijomis ar prietaisų perkaitimu [22]. Dalis implantų, tokių kaip stentai ar dirbtiniai vožtuvai, nekelia saugumo klausimų atliekant ŠMRT, tačiau implantuoti prietaisai, tokie kaip širdies stimulatoriai ar kardioverteriai-defibriliatoriai, pasižymi sudėtingesne konstrukcija ir reikalauja visapusiško ir nuoseklaus medicinos komandos pasiruošimo prieš ŠMRT. Verta pabrėžti, jog dabartiniai implantuojami širdies prietaisai nebėra laikomi absoliučia ŠMRT kontraindikacija [23]. Naujos kartos širdies stimulatoriai turi tinkamus techninius parametrus, leidžiančius užtikrinti paciento saugumą ŠMRT metu net pacientams, kurie yra visiškai priklausomi nuo stimulatoriaus veiklos. Nepriklausomai nuo stimulatoriaus tipo ir kartos, prieš atliekant ŠMRT šiems pacientams reikalinga kardiologo – elektrofiziologo konsultacija ir tinkamo

režimo suprogramavimas. Tam tikrais atvejais, laikantis visų saugumo protokolų, ŠMRT gali būti atliekamas ir pacientams su senesnės kartos stimulatoriais. Dėl artimos erdvinės padėties širdžiai stimulatoriai ar kiti širdies prietaisai lemia artefaktų atsiradimą ir prastesnę vaizdų kokybę. Gautų vaizdų kokybės pagerinimui mokslininkai tobulina ŠMRT sekas ir technikas, leidžiančias sumažinti artefaktų daromą įtaką [24]. Visgi, ŠMRT šiuo metu vis dar turėtų būti laikomas rezerviniu tyrimo metodu toms situacijoms, kai jo atlikimui yra aiškios indikacijos, o reikiamos informacijos negalima gauti kitais vaizdo tyrimais [25].

### **Pagrindiniai paskutinių metų ŠMRT klinikiniai tyrimai**

#### **CE-MARC ir CE-MARC 2**

2012 metais buvo publikuotas CE-MARC perspektyvinis klinikinis tyrimas, į kurį buvo įtraukti 752 pacientai su įtariama krūtinės angina ir bent vienu ŠKS rizikos veiksniumi. Šio tyrimo metu pacientams buvo atliekami skirtingi širdies vaizdiniai tyrimai, įskaitant adozino krūvio ŠMRT, vieno fotono emisijos kompiuterinę tomografiją (SPECT) ir vainikinių arterijų angiografiją. Jo metu neinvaziniai tyrimo metodai buvo lyginami tarpusavyje bei su invazine vainikinių arterijų angiografija. Buvo nustatyta, jog ŠMRT jautrumas (atitinkamai 86,5% ir 66,5%) diagnozuojant kliniškai svarbią vainikinių arterijų ligą) buvo statistiškai reikšmingai didesnis nei SPECT [26]. CE-MARC 2 - tai atsitiktinių imčių klinikinis tyrimas, kuris buvo atliktas siekiant išsiaiškinti, ar ŠMRT gali būti pranašesnis ir

lemti mažesni perteklinių angiografijų skaičių lyginant su rutininio pacientų ištyrimu. 1202 krūtinės anginos simptomus jaučiantys pacientai buvo atsitiktinai suskirstyti į 3 grupes: įprastinio ištyrimo (pagal britų NICE algoritmą), ŠMRT ir miokardo perfuzijos scintigrafijos tyrimo. Nustatyta, kad kardiovaskulinių komplikacijų dažnis tarp grupių reikšmingai nesiskyrė, tačiau pacientams, buvusiems ŠMRT ar miokardo perfuzijos scintigrafijos tyrimo grupėje, nereikalingų vainikinių arterijų angiografijų dažnis (7,5% ir 7,1%) buvo reikšmingai mažesnis nei įprasto ištyrimo grupėje (28,8%) [27].

## STRATEGY

Tai 2016 metais paskelbtas perspektyvinis stebėjimo tyrimas, kurio metu buvo lyginamos artimosios ir tolimosios išeitys atliekant kompiuterinės tomografijos vainikinių arterijų angiografiją (KTA) ir krūvio ŠMRT pacientams, anamnezėje turėjusiems vainikinių arterijų revaskuliarizaciją ir pakartotinai besiskundžiantiems krūtinės skausmu. Iš viso į šį tyrimą buvo įtraukti 600 pacientų, kurie buvo sekami apie dvejus metus dėl įvairių ŠKS komplikacijų. Lyginant su KTA, pacientams, kurie buvo ištirti krūvio ŠMRT, buvo stebimas reikšmingai mažesnis papildomai atliktų neinvazinių tyrimų (atitinkamai 17% ir 28%) bei invazinių procedūrų (20% ir 31%) dažnis ir buvo užfiksuota statistiškai reikšmingai mažiau sunkių širdies ir kraujagyslių sistemos komplikacijų (atitinkamai 5% ir 10%). Šis klinikinis tyrimas leidžia daryti prielaidą, kad krūvio ŠMRT, lyginant su KTA, turėtų būti laikomas tikslesniu metodu tiriant pacientus su ankstesne revaskuliarizacija anamnezėje ir

pakartotinai atsiradusiais krūtinės ploto skausmais [28].

## MR-INFORM

Tai daugiacentrinis klinikinis tyrimas, kuriame buvo lyginamas krūvio ŠMRT ir invazinis frakcinės tėkmės rezervo (FTR) tyrimo tikslumas nustatant revaskuliarizacijos poreikį pacientams, sergantiems stabilia krūtinės angina bei turintiems du ir daugiau ŠKS rizikos veiksnių ar teigiamą bėgimo takelio testą. 918 pacientų atsitiktinai buvo įtraukiami į vieną iš dviejų tiriamųjų grupių. ŠMRT grupėje nustatytas revaskuliarizacijos atlikimo kriterijus buvo reikšminga miokardo išemija (>6 proc. miokardo), o FTR grupėje revaskuliarizacija buvo rekomenduojama pacientams, kurių  $FTR \leq 0,8$ . Tyrimo metu nustatyta, kad ŠMRT grupėje vainikinių arterijų revaskuliarizacijų dažnis buvo reikšmingai mažesnis nei FTR grupėje (35,7% ir 45%), o rimtų ŠKS komplikacijų dažnis po vienerių metų statistiškai nesiskyrė (3,6% ir 3,7%). Šie rezultatai parodė, jog krūvio ŠMRT turėtų būti laikomas lygiaverčiu tyrimo metodu invaziniam FTR tyrimui nustatant vainikinių arterijų revaskuliarizacijos poreikį [29].

## Dirbtinio intelekto pritaikymas naudojant ŠMRT

Dirbtinis intelektas vaizdinių tyrimų srityje sparčiai tobulėja ir vis dažniau yra įtraukiamas į klinikinę praktiką. Nenuostabu, kad mokslininkai skiria didelį dėmesį dirbtinio intelekto tobulinimui širdies magnetinio rezonanso srityje. Dalis egzistuojančių dirbtinio intelekto algoritmų jau yra patvirtinti JAV



maisto ir vaistų administracijos (FDA) [30]. Dabartiniai algoritmai gali pagelbėti ne tik sprendimų priėmimo, bet ir vaizdų gavimo ar atkūrimo srityse, rizikos vertinime. Nors dirbtinio intelekto suteikiamų pranašumų nauda dar turi būti įrodyta, tačiau akivaizdu, jog kompiuterinių algoritmų įtraukimas į klinikinę praktiką gali pagreitinti ir palengvinti kasdieninių užduočių atlikimą [31]. Be abejojimo, dirbtinio intelekto vystytojams tenka susidurti su rimtais iššūkiais, susijusiais su didelės vaizdinių tyrimų bazės reikalingumu ir iš to kylančiais teisiniais bei etiniais klausimais [5]. Šiuo metu ŠMRT srityje dirbtinis intelektas gali būti pritaikomas atliekant tūrinę ir funkcinę širdies kamerų analizę, taip sumažinant pasikartojančio mechaninio darbo krūvį bei netikslumus, atsirandančius dėl skirtingų tiriančiųjų interpretacijų [32]. Klinikinių tyrimų duomenimis, dirbtinio intelekto algoritmai ne blogiau nei specialistai atlieka automatinę segmentaciją bei tai padaro per trumpesnę laiko periodą (atitinkamai per 0,07 min ir 13 min) [33]. Šiuo metu kompiuterinės programos suteikia galimybę išmatuoti ir įvertinti ne tik skilvelius, bet ir regioninę miokardo fibrozę bei randėjimą [34]. Taip pat tikimasi, jog netolimoje ateityje dirbtinis intelektas, panaudodamas vaizdinius tyrimus ir klinikinę informaciją, padės tiksliau įvertinti individualią pacientų riziką ir prognozuoti atsaką į taikomą gydymą, pavyzdžiui, širdies darbą resinchronizuojančią terapiją [35].

### Apibendrinimas

Širdies vaizdiniai tyrimai užima vis svarbesnę vietą širdies ir kraujagyslių sistemos ligų diagnostikoje, o širdies magnetinio rezonanso

tyrimas jau yra tapęs pirmo pasirinkimo metodu nustatant širdies ertmių tūrius ir funkciją. Naujai vystomi tyrimo metodai, tokie kaip T1 ir T2 relaksacijos laikų žymėjimas ar miokardo įtampos nustatymas, atveria naujas galimybes diferencijuojant miokardo pokyčius ir detalai nustatant širdies funkcijos rodiklius. Nors naujovės, įskaitant dirbtinį intelektą, ŠMRT srityje palaipsniui skinasi kelią į klinikinę praktiką, šių metodų diagnostinės svarbos ir referentinių normų nustatymui reikalingi papildomi klinikiniai tyrimai.

### Literatūra

1. Salerno M, Sharif B, Arheden H, Kumar A, Axel L, Li D, et al. Recent Advances in Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017 Jun 1;10(6).
2. Karamitsos TD, Arvanitaki A, Karvounis H, Neubauer S, Ferreira VM. STATE-OF-THE-ART REVIEW Myocardial Tissue Characterization and Fibrosis by Imaging. 2020;
3. Neumann FJ, Sechtem U, Banning AP, Bonaros N, Bueno H, Bugiardini R, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. Vol. 41, *European Heart Journal*. Oxford University Press; 2020. p. 407–77.
4. Seetharam K, Lerakis S. Cardiac magnetic resonance imaging: The future is bright [version 1; peer review: 2 approved]. Vol. 8, *F1000Research*. F1000 Research Ltd; 2019.
5. Dey D, Slomka PJ, Leeson P, Comanicu D, Shrestha S, Sengupta PP, et al. Artificial Intelligence in Cardiovascular Imaging:

- JACC State-of-the-Art Review. Vol. 73, Journal of the American College of Cardiology. Elsevier USA; 2019. p. 1317–35.
6. Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, Grosse-Wortmann L, He T, Kellman P, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping 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. Vol. 19, Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. BioMed Central Ltd.; 2017. p. 75.
  7. Konstam MA, Abboud FM. Ejection Fraction: Misunderstood and Overrated (Changing the Paradigm in Categorizing Heart Failure). Circulation. 2017 Feb 21;135(8):717–9.
  8. Harbo MB, Nordén ES, Narula J, Sjaastad I, Espe EKS. Quantifying left ventricular function in heart failure: What makes a clinically valuable parameter? Vol. 63, Progress in Cardiovascular Diseases. W.B. Saunders; 2020. p. 552–60.
  9. Taylor AJ, Salerno M, Dharmakumar R, Jerosch-Herold M. T1 Mapping Basic Techniques and Clinical Applications. Vol. 9, JACC: Cardiovascular Imaging. Elsevier Inc.; 2016. p. 67–81.
  10. Busse A, Rajagopal R, Yücel S, Beller E, Öner A, Streckenbach F, et al. Der Radiologe Cardiac MRI-Update 2020. Radiologe. 2020;2020(1):33–40.
  11. Everett RJ, Stirrat CG, Semple SIR, Newby DE, Dweck MR, Mirsadraee S. Assessment of myocardial fibrosis with T1 mapping MRI. Vol. 71, Clinical Radiology. W.B. Saunders Ltd; 2016. p. 768–78.
  12. Haaf P, Garg P, Messroghli DR, Broadbent DA, Greenwood JP, Plein S. Cardiac T1 Mapping and Extracellular Volume (ECV) in clinical practice: A comprehensive review. Vol. 18, Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. BioMed Central Ltd.; 2016. p. 1–12.
  13. Lota AS, Gatehouse PD, Mohiaddin RH. T2 mapping and T2\* imaging in heart failure. Vol. 22, Heart Failure Reviews. Springer New York LLC; 2017. p. 431–40.
  14. Kremastinos DT, Farmakis D, Aessopos A, Hahalis G, Hamodraka E, Tsiapras D, et al.  $\beta$ -thalassemia cardiomyopathy: History, present considerations, and future perspectives. Circ Hear Fail. 2010 May;3(3):451–8.
  15. Triadyaksa P, Oudkerk M, Sijens PE. Cardiac T<sub>2</sub>\* mapping: Techniques and clinical applications. J Magn Reson Imaging. 2020 Nov 14;52(5):1340–51.
  16. Carrick D, Haig C, Ahmed N, McEntegart M, Petrie MC, Eteiba H, et al. Myocardial hemorrhage after acute reperfused ST-segment-elevation myocardial infarction: Relation to microvascular obstruction and prognostic significance. Circ Cardiovasc Imaging. 2016 Jan 1;9(1).
  17. Pedrizzetti G, Claus P, Kilner PJ, Nagel E. Principles of cardiovascular magnetic resonance feature tracking and echocardiographic speckle tracking for informed clinical use. Vol. 18, Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. BioMed Central Ltd.; 2016. p. 51.
  18. Scatteia A, Baritussio A, Bucciarelli-Ducci C. Strain imaging using cardiac magnetic

- resonance. Vol. 22, Heart Failure Reviews. Springer New York LLC; 2017. p. 465–76.
19. Romano S, Romer B, Evans K, Trybula M, Shenoy C, Kwong RY, et al. Prognostic Implications of Blunted Feature-Tracking Global Longitudinal Strain During Vasodilator Cardiovascular Magnetic Resonance Stress Imaging. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020 Jan 1;13(1):58–65.
  20. Kotanidis CP, Bazmpani MA, Haidich AB, Karvounis C, Antoniadis C, Karamitsos TD. Diagnostic Accuracy of Cardiovascular Magnetic Resonance in Acute Myocarditis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018 Nov 1;11(11):1583–90.
  21. Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, Kramer CM, Carbone I, Sechtem U, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance in Nonischemic Myocardial Inflammation: Expert Recommendations. Vol. 72, *Journal of the American College of Cardiology*. Elsevier USA; 2018. p. 3158–76.
  22. Gopalakrishnan PP, Gevenosky L, Biederman RWW. Feasibility of MRI in Patients with Non-Pacemaker/Defibrillator Metallic Devices and Abandoned Leads. *J Biomed Sci Eng*. 2021;14(03):83–93.
  23. Indik JH, Gimbel JR, Abe H, Alkmmim-Teixeira R, Birgersdotter-Green U, Clarke GD, et al. 2017 HRS expert consensus statement on magnetic resonance imaging and radiation exposure in patients with cardiovascular implantable electronic devices. *Hear Rhythm*. 2017 Jul 1;14(7):e97–153.
  24. Klein-Wiele O, Garmer M, Busch M, Mateiescu S, Urbien R, Barbone G, et al. 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. Vol. 33, *International Journal of Cardiovascular Imaging*. Springer Netherlands; 2017. p. 383–94.
  25. Raphael CE, Vassiliou V, Alpendurada F, Prasad SK, Pennell DJ, Mohiaddin RH. Clinical value of cardiovascular magnetic resonance in patients with MR-conditional pacemakers. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016 Oct 1;17(10):1178–85.
  26. Greenwood JP, Maredia N, Younger JF, Brown JM, Nixon J, Everett CC, et al. Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary heart disease (CE-MARC): A prospective trial. *Lancet*. 2012 Feb 4;379(9814):453–60.
  27. Greenwood JP, Ripley DP, Berry C, McCann GP, Plein S, Bucciarelli-Ducci C, et al. Effect of care guided by cardiovascular magnetic resonance, myocardial perfusion scintigraphy, or NICE guidelines on subsequent unnecessary angiography rates: The CE-MARC 2 randomized clinical trial. *JAMA - J Am Med Assoc*. 2016 Sep 13;316(10):1051–60.
  28. Pontone G, Andreini D, Guaricci AI, Rota C, Guglielmo M, Mushtaq S, et al. The STRATEGY Study (Stress Cardiac Magnetic Resonance Versus Computed Tomography Coronary Angiography for the Management of Symptomatic

- Revascularized Patients): Resources and Outcomes Impact. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2016 Oct 1;9(10).
29. Nagel E, Greenwood JP, McCann GP, Bettencourt N, Shah AM, Hussain ST, et al. Magnetic Resonance Perfusion or Fractional Flow Reserve in Coronary Disease. *N Engl J Med*. 2019 Jun 20;380(25):2418–28.
30. Petersen SE, Abdulkareem M, Leiner T. Artificial Intelligence Will Transform Cardiac Imaging—Opportunities and Challenges. Vol. 6, *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. Frontiers Media S.A.; 2019. p. 133.
31. Seetharam K, Shrestha S, Sengupta PP. Artificial Intelligence in Cardiovascular Medicine. Vol. 21, *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*. Springer Healthcare; 2019. p. 1–14.
32. Winther HB, Hundt C, Schmidt B, Czerner C, Bauersachs J, Wacker F, et al. v-net: Deep Learning for Generalized Biventricular Mass and Function Parameters Using Multicenter Cardiac MRI Data. Vol. 11, *JACC: Cardiovascular Imaging*. Elsevier Inc.; 2018. p. 1036–8.
33. Bhuva AN, Bai W, Lau C, Davies RH, Ye Y, Bulluck H, et al. A Multicenter, Scan-Rescan, Human and Machine Learning CMR Study to Test Generalizability and Precision in Imaging Biomarker Analysis. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2019 Oct 1;12(10).
34. Moccia S, Banali R, Martini C, Muscogiuri G, Pontone G, Pepi M, et al. Development and testing of a deep learning-based strategy for scar segmentation on CMR-LGE images. *Magn Reson Mater Physics, Biol Med*. 2019 Apr 10;32(2):187–95.
35. Peressutti D, Sinclair M, Bai W, Jackson T, Ruijsink J, Nordsletten D, et al. A framework for combining a motion atlas with non-motion information to learn clinically useful biomarkers: Application to cardiac resynchronisation therapy response prediction. *Med Image Anal*. 2017 Jan 1;35:669–84.