

ULOGA MAGNETNE REZONANCIJE SRCA U OBRADI BOLESNIKA S PRIROĐENIM SRČANIM GREŠKAMA

MAJA HRABAK-PAAR^{1,2}, TIHANA BALAŠKO¹

Kontekst: Napredak u dijagnostici i liječenju doveo je do visoke stope preživljenja bolesnika s prirođenim srčanim greškama uz morfološke i hemodinamske promjene koje zahtijevaju cjeloživotno multidisciplinarno praćenje. Iako je ehokardiografija prva slikovna metoda za procjenu morfologije i funkcije srca u bolesnika s prirođenim srčanim greškama, magnetna rezonancija se sve više koristi kao komplementarna pretraga.

Cilj: približiti kliničaru oslikavanje kardiovaskularnog sustava magnetnom rezonancijom, s osobitim osvrtom na prirodene srčane greške.

Izvori podataka: U prikupljanju podataka korištene su preporuke više europskih i svjetskih društava za kardiologiju, dječju kardiologiju te kardiovaskularnu magnetnu rezonanciju, kao i izvorni znanstveni članci u kojima je ispitivana uloga kardiovaskularne magnetne rezonancije u bolesnika s prirođenim srčanim greškama.

Rezultati: Magnetna rezonancija srca smatra se "zlatnim standardom" u procjeni veličine i funkcije desne klijetke, kao i u kvantifikaciji insuficijencije pulmonalne valvule, te je stoga vrlo bitna u praćenju bolesnika nakon operacije Fallotove tetralogije. Mjerenjem protoka kroz plućnu arteriju i ascendentnu aortu ovom metodom moguće je procijeniti značaj shunta, magnetnom angiografijom dobivamo kvalitetan prikaz medijastinalnih krvnih žila, a kasna postkontrastna imbibicija miokarda ukazuje na ožiljne promjene u miokardu.

Zaključci: Magnetna rezonancija je vrlo vrijedna metoda u obradi bolesnika s prirođenim srčanim greškama jer na neinvazivan način, bez primjene ionizirajućeg zračenja omogućuje preciznu procjenu veličine i funkcije klijetki, valvularnih grešaka, ekstrakardijalnih vaskularnih anomalija te hemodinamskog značaja shunta. U male djece pretraga se radi rijetko zbog duljine pregleda i potrebe za općom anestezijom, dok je u sve većoj primjeni u starije djece i odraslih.

Deskriptori: PRIROĐENE SRČANE GREŠKE, MAGNETNA REZONANCIJA

Uslijed iznimnog napretka u dijagnostici i liječenju, preživljenje bolesnika s prirođenim srčanim greškama višestruko se povećalo tijekom proteklih desetljeća (1, 2). Unatoč tome, nakon kirurške korekcije najčešće zaostaju morfološke i hemodinamske promjene koje zahtijevaju cjeloživotno praćenje bolesnika od

strane tima liječnika različitih specijalnosti: pedijatra, kardiologa, radiologa, kardijalnog kirurga itd. (3). Prvi dodir s pacijentom najčešće ima pedijatar već u novorođenačkoj ili dojenačkoj dobi, te u suradnji s kliničkim radiologom mora donijeti odluku o uporabi adekvatnog algoritma slikovne dijagnostike. Iako je ehokardiografija i nadalje primarni dijagnostički modalitet, upotreba kompjutorizirane tomografije (CT) i magnetne rezonancije (MR) kao komplementarnih metoda je u porastu.

Cilj ovog preglednog članka je približiti kliničaru oslikavanje kardiovaskularnog sustava MR-om u pedijatrijskoj populaciji, s osobitim osvrtom na prirodene srčane greške.

Osnove MR pregleda kardiovaskularnog sustava

MR je neinvazivna metoda oslikavanja kod koje se na temelju interakcije jezgri vodika (protona) u tkivima i izvanjskog magnetskog polja dobiva slikovni prikaz i procjenjuje funkcija tkiva i organa bez primjene ionizirajućeg zračenja. MR se zasniva na fenomenu nuklearne magnetske rezonancije prilikom kojeg protoni pod utjecajem vanjskog magnetskog polja i radiofrekventnih valova apsorbiraju energiju te potom emitiraju radiofrekventni signal koji omogućuje prikaz različitih tkiva. Jačina magnetskog polja uređaja koji se koriste pri MR pregledu srca je 1,5T ili 3T. Unatoč jačem signalu na uređajima od 3T, većina MR pregleda srca radi se na uređajima

¹Klinički zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju
Klinički bolnički centar Zagreb
²Katedra za radiologiju
Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Adresa za dopisivanje:
Doc. dr. sc. Maja Hrabak-Paar, dr. med.
Klinički zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju
Klinički bolnički centar Zagreb
10000 Zagreb, Kišpatičeva 12
E-mail: maja.hrabak.paar@mef.hr

jačine polja 1,5T zbog značajno manjih artefakta izazvanih inhomogenošću magnetskog polja.

MR uređaj sastoji se od kućišta u obliku tunela, unutar kojeg je stol na kojem leži bolesnik. Iako se MR kardiovaskularnog sustava bazira na istim fizičkim principima kao i pregled drugih organskih sustava, zbog mobilnosti srca koristimo drugačije sekvence čija akvizicija je usklađena s disanjem i elektrokardiogramom (EKG). Većina sekvenci je dovoljno brza da se može snimati uz zadržavanje daha, dok za pojedine, sporije sekvence uređaj registrira pomake ošita i snima samo u vrijeme maksimalnog ekspirija (4). Kvalitetan prikaz srca zahtijeva usklađivanje MR snimanja s EKG-om na dva načina: retrospektivno pri čemu dobivamo prikaz gibanja srca tijekom čitavog srčanog ciklusa s mogućnošću analize ventrikularne i valvularne funkcije, te prospektivno pri čemu dobivamo statičnu, morfološku sliku snimljenu u diastoli. Tijekom pregleda kombiniramo oba načina snimanja, a pojedinu sliku dobivamo iz desetak srčanih ciklusa te je prikaz znatno kvalitetniji u bolesnika s ritmičnom akcijom srca. Moguće je snimati srce i u realnom vremenu, ali je kod te sekvence prostorna i vremenska rezolucija vrlo loša te se ona koristi samo u potpuno nesuradljivih bolesnika, te onih čiji rad srca nije moguće uskladiti s EKG-om.

Pri MR pregledu kardiovaskularnog sustava gotovo redovito se intravenski injicira paramagnetsko kontrastno sredstvo koje povisuje signal na T1 mjerenoj slici na mjestima gdje se nakuplja. Za MR pregled srca koristimo kelate gadolinija u dozi 0,1-0,2 mmol/kg kroz kanilu uvedenu u perifernu venu. Incidencija neželjenih događaja nakon primjene gadolinijevih kelata je vrlo niska, a najčešće je riječ o osipu, mučnini, anksioznosti, toplini i boli na mjestu intravenske primjene, povraćanju itd. (5). Ozbiljne anafilaktičke reakcije su iznimna rijetkost (0,001-0,01%) (6, 7).

Primjena gadolinijevih kontrastnih sredstava pri MR pregledu u bolesnika s uznapredovalom bubrežnom insuficijencijom povezana je s rijetkom pojavom nefrogene sistemske skleroze te se pre-

poruča izbjegavati njihovu primjenu u osoba s procijenjenom brzinom glomerularne filtracije <30 ml/min (8). Također se preporuča izbjegavati primjenu visokorizičnih linearnih kelata gadolinija u djece mlađe od jedne godine, dok se primjena cikličnih kelata i u toj dobi smatra sigurnom (8). Recentna istraživanja ukazuju na odlaganje kelata gadolinija u različita tkiva, ponajviše mozak, neovisno o funkciji bubrega, no još nije razjašnjen klinički značaj takvog odlaganja (9, 10). Upravo zbog ovih činjenica u pacijenata kod kojih se planira primjena kontrastnog sredstva provjerava se bubrežna funkcija, a samoj uporabi valja pristupiti racionalno.

Posebnosti MR pregleda u pedijatrijskoj populaciji

Iako je MR metoda koja ne koristi ionizirajuće zračenje, za analizu srca rijetko ga koristimo u ranoj dječjoj dobi. Razlog tome je dugotrajnost pregleda te potreba za sedacijom ili anestezijom obzirom na ograničenu suradljivost male djece. Za optimalan prikaz djeteta bi trebalo biti anestezirano uz periode apneje tijekom akvizicije signala (11). Nadalje, mogućnost prikaza malih anatomskih struktura pri vrlo brznoj frekvenciji rada srca je ograničena te zahtijeva uređaje s vrhunskom prostornom i vremenskom rezolucijom (12). Valja računati i na teško opće stanje pojedinih bolesnika, te sukladno prilagoditi trajanje i način pregleda.

MR pregled kardiovaskularnog sustava podrazumijeva da djeteta mora mirno ležati u uređaju čak do 60 minuta, ovisno o planu pregleda. Brojni čimbenici utječu na odluku o primjeni anestezije uključujući trajanje pregleda, psihičku zrelost djeteta, njegovo prethodno iskustvo s MR pregledom, suglasnost roditelja te najvažnije, procjenu koristi pregleda spram rizika anestezije (13). Iz našeg iskustva dob djeteta poslije koje je moguće izvesti pregled bez anestezije je 6-8 godina, ovisno o psihičkoj zrelosti bolesnika. Jedna od glavnih prednosti MR pregleda naspram CT pregleda je korištenje ne-ionizirajućeg zračenja te se MR smatra sigurnim odabirom u višekratnom praćenju bolesnika.

Tijek MR pregleda

Pri upućivanju bolesnika na pregled, vrlo je bitno dostaviti sve relevantne kliničke podatke, osobito one o učinjenim kirurškim i intervencijskim zahvatima, nalaze ehokardiografije i ostale slikovne obrade, te naglasiti specifične kliničke upite na koje bi se MR pregledom trebao dobiti odgovor. Za MR pregled kardiovaskularnog sustava nužna je prisutnost posebno educiranog radiološkog tehnologa te radiologa koji nadzire tijek pregleda. Prije početka pregleda potrebno je upoznati roditelje i bolesnika s postupkom snimanja pregleda na način primjeren dobi djeteta.

Pregled započinje detaljnom analizom bolesnikove povijesti bolesti i kliničkog pitanja, kako bi se pregled individualno isplanirao te tehnički prilagodio (12). Pacijentu se prije početka pregleda postave EKG elektrode i zavojnica za snimanje na prsa. Zbog glasnoće uređaja te zbog potrebe primanja uputa o zadržavanju daha tijekom snimanja, bolesnik tijekom pregleda na ušima ima posebne slušalice. Pregled se tijekom snimanja modificira prema dobivenoj slikovnoj informaciji.

Usporedba MR pregleda kardiovaskularnog sustava s CT pregledom i ehokardiografijom

U kliničkoj praksi odluka o dijagnostičkoj metodi ovisi o brojnim čimbenicima: kvaliteti dobivenih slikovnih podataka, dostupnosti uređaja i njegovoj cijeni, kliničkom stanju pacijenta itd. Ehokardiografija i nadalje ostaje temeljna dijagnostika dok MR i CT služe primarno za dobivanje dodatnih informacija.

Prednosti MR pregleda

- neinvazivnost i izostanak ionizirajućeg zračenja njegova je glavna prednost naspram CT-a, te omogućuje praćenje bolesnika bez štetnog utjecaja na tkiva djece koja rastu i razvijaju se;
- informacija o ventrikularnoj i valvularnoj funkciji, uz precizno mjerenje veličine i funkcije ventrikla neovisno

o njihovom obliku, te procjenu stupnja valvularnih grešaka, osobito insuficijencije;

- izvrsna mekotkivna rezolucija koja omogućuje prikaz edema i ožiljnog tkiva unutar miokarda, kao i karakterizaciju tumora;
- kontrastna sredstva na bazi gadolinija imaju višestruko manju incidenciju neželjenih događaja od jodnih kontrastnih sredstava koja se koriste pri CT pregledu;
- u usporedbi s ehokardiografijom, MR omogućuje prikaz svih kardijalnih i ekstrakardijalnih struktura u bilo kojoj ravnini, neovisno o akustičnom prozoru.

Nedostaci MR pregleda

- zbog duljine pregleda i potrebe za općom anestezijom MR pregled srca se rijetko radi u ranoj dječjoj dobi. Obzirom na brzinu snimanja, CT pregled ima prednost u toj dobnoj skupini jer ga je moguće izvesti samo uz sedaciju ili kratkotrajnu anesteziju. Iz tog razloga u dojenčadi i male djece CT je primarna neinvazivna metoda za prikaz ekstrakardijalnih vaskularnih struktura te akutnih komplikacija prirodnih srčanih grešaka. Kraći boravak u uređaju i otvorenost uređaja čini CT pogodnim za bolesnike s klaustrofobijom;
- pregled je kontraindiciran u bolesnika s elektrostimulatorom srca te metalnim implantatima inkompatibilnim s MR uređajem, uz napomenu da žice od serklaže sternuma, metalne mediastinalne kopče, umjetne srčane valvule i sličan kardiokirurški materijal nisu kontraindikacija za pregled, no mogu uzrokovati artefakte na slici. Iz navedenog razloga vrlo je ograničena mogućnost analize prohodnosti stenova MR-om (npr. nakon intervencijskog liječenja koarktacije aorte ili stenozе plućnih arterija), te je za tu indikaciju CT značajno bolja metoda;
- visoka cijena i ograničena dostupnost uređaja;

- lošija prostorna rezolucija u usporedbi s CT-om onemogućuje detaljan prikaz sitnih morfoloških struktura;
- izostanak prikaza kalcifikacija (14).

Tehnike snimanja

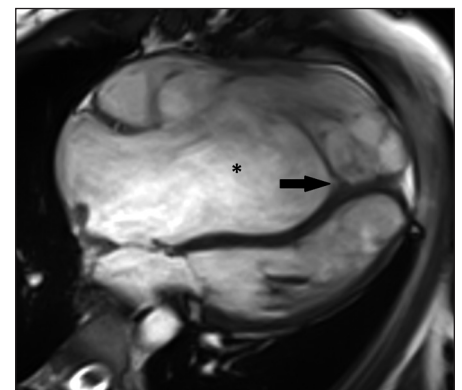
Kod magnetne rezonancije srca, za razliku od ostalih dijelova tijela, snimanje se ne radi u aksijalnoj (transverzalnoj), sagitalnoj i koronalnoj (frontalnoj ravnini), već se ravnine snimanja prilagođavaju morfološkij srca i odabiru ovisno o uputnoj dijagnozi i kliničkom upitu. Ravnine snimanja planiraju se temeljem pregledne aksijalne sekvence snimljene na početku pregleda kojom ujedno dobivamo općenit uvid u morfološkiju srca te ekstrakardijalnih torakalnih struktura. Ravnine koje najčešće koristimo pri snimanju su prikaz dvije lijeve komore (lijevi atrij i lijevi ventrikl s mitralnom valvulom, Slika 1), četiri komore (oba atrija i oba ventrikla s mitralnom i trikuspidnom valvulom, Slika 2), tri lijeve komore (lijevi atrij, lijevi ventrikl i ascendentna aorta s mitralnom i aortnom valvulom), tri desne komore (desni atrij, desni ventrikl i pulmonalni trunkus s trikuspidnom i pulmonalnom valvulom), kao i niz prikaza desnog i lijevog ventrikla od razine atrioventrikularnih valvula do apeksa u kratkoj osi. Kod većine sekvenci za vrijeme jednog zadržavanja daha možemo snimiti samo jedan sloj, zbog čega je MR srca za bolesnika zahtjevna i dugotrajna pretraga



Slika 1. Kasno postkontrastno snimanje (late gadolinium enhancement) subepikardne zone inferiorne stijenke lijeve klijetke (strelice) u bolesnika s akutnim miokarditisom (prikaz dvije lijeve komore).

koja u bolesnika s prirodnim srčanim grješkama obično traje oko 60 minuta. Kako jednu snimku dobivamo iz više srčanih udara (obično 8-10) snimke su značajno lošije tehničke kvalitete u bolesnika s aritmijama.

Gradijentne sekvence. Glavni uvid u morfološkiju i funkciju srca MR-om dobivamo gradijentnim sekvencama čije snimanje se retrospektivno sinkronizira s EKG-om (Slika 2). Na taj način snimamo prikaz gibanja srčanih struktura na 25-35 slika po srčanom ciklusu, a krv koja protječe kroz srčane šupljine stvara visok signal čak i bez primjene kontrastnog sredstva i lako se razlikuje u odnosu na miokard i srčane valvule. Ovu tehniku snimanja koristimo za analizu globalne sistoličke funkcije, kao i za detekciju regionalnih poremećaja kontraktiliteta. Globalnu sistoličku funkciju oba ventrikla mjerimo iz niza prikaza srca u kratkoj osi od razine atrioventrikularnih valvula do apeksa posebnim računalnim programom kojim se ocrtava endokardna kontura u sistoli i diastoli uz mogućnost mjerenja enddiastoličkog, endsistoličkog i udarnog volumena, kao i ejekeijske frakcije (13). Na sličan način može se izračunati i masa miokarda uz ocrtavanje endokardne i epikardne konture. Navedeni parametri mogu se prikazati kao apsolutne vrijednosti, ali i kao vrijednosti normalizirane prema površini tijela bolesnika, što je pri praćenju bolesnika s prirodnim srčanim greškama često kliničaru od pomoći pri donošenju odluka



Slika 2. Gradijentni prikaz četiri komore srca u bolesnice s Ebsteinovom anomalijom u enddiastoli. Izraziti apikalni pomak septalnog listića trikuspidne valvule (strelica) s atrijalizacijom velikog dijela desne klijetke (zvijezdica).

o potrebi intervencijskog ili kirurškog liječenja. MR se smatra zlatnim standardom za procjenu biventrikularne globalne sistoličke funkcije, veličine ventrikla i mase miokarda (15, 16). Ovom tehnikom snimanja dobivamo i morfološki prikaz turbulencije protoka kod valvularnih stenoza i insuficijencija.

MR angiografija. U bolesnika s prirodnim srčanim greškama postkontrastna MR angiografija je gotovo redovito sastavni dio protokola snimanja. Snimanje ove tehnike nije usklađeno s EKG-om pa njome dobivamo loš prikaz srca, no zato nam je od velike koristi za prikaz velikih krvnih žila medijastinuma, uključujući plućne arterije i vene, torakalnu aortu s ograncima, kao i sistemne vene. Pretraga se radi uz intravensku primjenu bolusa gadolinijevog kontrastnog sredstva putem automatskog injektora, a vrijeme snimanja podešava se na način da dobijemo optimalan prikaz plućnih ili sistemskih arterija tijekom prvog prolaska kontrastnog sredstva. Supravavularni dio ascendentne aorte često je zahvaćen artefaktima pomicanja pa ga je potrebno prikazati i drugim tehnikama snimanja, dok je aorta distalno od sinotubularnog spoja najčešće optimalno prikazana uz mogućnost preciznog mjerenja širine lumena (Slika 3).

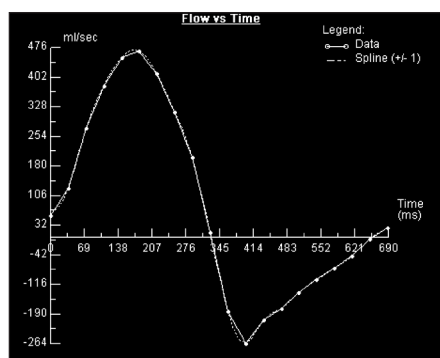
Ova metoda koristi se i za detekciju stenoza plućnih arterija, te anomalnog utoka plućnih vena.

Fazno-kontrastno snimanje. Fazno-kontrastna tehnika snimanja koristi se za mjerenje protoka krvi. Stacionarna tkiva pri ovoj tehnici ne daju signal, dok se protok, ovisno o smjeru, kodira bijelom ili crnom bojom. Naknadom obradom slike posebnim računalnim programom moguće je izmjeriti volumen krvi koja protječe kroz srčane valvule antegradno i retrogradno i time kvantificirati regurgitacijski volumen i regurgitacijsku frakciju kod insuficijencije valvula (Slika 4). Također je moguće mjeriti najveću brzinu protoka kod valvularnih stenoza, no zbog debljine sloja snimanja ona je pri MR pregledu redovito podcijenjena i zato se MR rjeđe koristi za određivanje stupnja valvularne stenoze. MR se smatra "zlatnim" standardom u analizi grešaka pulmonalne valvule koja



Slika 3. MR angiografija torakalne aorte pokazuje blagu dilataciju ascendentne aorte (strelica) u bolesnika s bikuspidnom aortnom valvulom i stanjem nakon operacije koarktacije aorte (zvjezdica). Nema znakova rekoarktacije.

je zbog svog smještaja otežano dostupna ehokardiografskom pregledu. Mjerenjem protoka kroz pulmonalni trunkus (Qp) i ascendentnu aortu (Qs) te računanjem omjera Qp:Qs moguće je kvantificirati lijevo-desni shunt (4). Na sličan način moguće je izmjeriti i diferencijalni protok kroz desnu i lijevu plućnu arteriju kod stenoze odnosno hipoplazije arterije.



Slika 4. Grafički prikaz protoka kroz pulmonalnu valvulu fazno-kontrastnom MR angiografijom u bolesnice sa stanjem nakon kirurške korekcije Fallotove tetralogije ukazuje na tešku pulmonalnu insuficijenciju (regurgitacijska frakcija 45%).

Late-gadolinium enhancement. 10-30 minuta nakon intravenske primjene gadolinijevog kontrastnog sredstva analizira se prisustvo kasne imbibicije miokarda koja odgovara zonama fibroze. Pri ovoj tehnici snimanja zdrav miokard je crn, dok se zone fibroze prikazuju kao zone povišenog intenziteta signala. Kod bolesnika s prirodnim srčanim greškama najčešće se radi o postoperativnim ožiljcima. Subendokardna postkontrastna imbibicija tipična je za postinfarktni ožiljak, subepikardna rana i kasna imbibicija često je prisutna u bolesnika s akutnim miokarditisom (Slika 1), dok pojedini oblici kardiomiopatija imaju specifične obrasce kasne imbibicije miokarda.

T1 i T2 mjerena slika. Za snimanje srca rijetko koristimo T1 i T2 tehniku snimanja koje su glavne sekvence pri snimanju ostalih dijelova tijela jer njima dobivamo uvid samo u morfologiju, a ne i funkciju srca. Uglavnom ih koristimo kada je potrebna karakterizacija tkiva, npr. za karakterizaciju tumora srca, te za detekciju edema miokarda kod miokarditisa.

MR koronarografija. Na novijim MR uređajima dostupna je 3D sekvenca visoke prostorne rezolucije, debljine slojeva od 0,6 mm koja omogućuje prikaz medijastinalnih krvnih žila uključujući



Slika 5. MR koronarografija u bolesnika sa stanjem nakon Kawasakijeve bolesti prikazuje aneurizmu na bifurkaciji debla lijeve koronarne arterije (bijela strelica) te u ishodišnom segmentu desne koronarne arterije (crna strelica).

koronarne arterije sa ili bez primjene kontrastnog sredstva (4). Ova sekvenca pogodna je za analizu anomalija tijekom koronarnih arterija, kao i aneurizmatičkih proširenja kod Kawasakijske bolesti (Slika 5), no ne i za prikaz aterosklerotičkih suženja lumena.

Nekoliko primjera kliničke primjene MR-a

U bolesnika sa stanjem nakon kirurške korekcije Fallotove tetralogije MR se smatra "zlatnim standardom" u procjeni veličine i funkcije desnog ventrikla kao i u procjeni težine pulmonalne regurgitacije (Slika 4) (17). Nadalje, istim pregledom možemo detektirati rezidualnu subvalvularnu ili valvularnu pulmonalnu stenozu, periferne stenozu plućnih arterija, disfunkciju lijeve klijetke, dilataciju ascendentne aorte, ožiljne promjene miokarda, te kvantificirati trikuspidnu insuficijenciju ili rezidualni shunt. Ovi podaci su od izuzetne važnosti u planiranju budućih kirurških i intervencijskih zahvata te se u ovih bolesnika preporuča učiniti MR pregled najmanje u trogodišnjim vremenskim intervalima (18). U toj grupi bolesnika MR se koristi i za evaluaciju normalizacije veličine desne klijetke nakon kirurške zamjene pulmonalne valvule zbog teške pulmonalne insuficijencije.

U bolesnika s bikuspidnom aortnom valvulom MR se smatra "zlatnim standardom" za precizno mjerenje dilatacije ascendentne aorte (Slika 3), uz dodatan uvid u morfologiju aortne valvule te kvantifikaciju stenozu i insuficijenciju (3, 19).

U bolesnika s koarktacijom aorte MR pregledom dobivamo precizan uvid u mjesto te stupanj suženja aorte, kao i na prisutnost udruženih anomalija poput hipoplazije luka aorte ili bikuspidne aortne valvule. Najčešće se radi o istmičnoj stenozu, a promjene se mogu precizno prikazati i u bolesnika s reoarktacijom nakon operativnog zahvata. Na mjestu suženja MR-om možemo mjeriti brzinu protoka koja je redovito podcijenjena zbog tehničkih ograničenja metode. Također možemo prikazati arterijske kolaterale te procijeniti njihov značaj mjereći protok ispod mjesta koarktacije te u razini ošita (13, 20). Ukoliko je protok u

razini ošita veći od onoga ispod mjesta koarktacije radi se o značajnim arterijskim kolateralama. U bolesnika liječenih stentiranjem mjesta koarktacije mogućnost analize MR-om je vrlo ograničena zbog artefakata koje uzrokuje stent.

MR je od neprocjenjive važnosti u praćenju bolesnika s transpozicijom velikih arterija, bilo da se radi o bolesnicima operiranim metodom po Senningu ili Mustardu (atrial switch), o stanju po anatomskoj kirurškoj korekciji (arterial switch) ili o kongenitalno korigiranoj transpoziciji (13). U bolesnika nakon Senningove operacije moguće je detektirati stenozu atrijskog provodnika koja najčešće zahvaća anastomozu gornje šuplje vene s desnim atrijem, leak na atrijskom provodniku uz mogućnost kvantifikacije shunta, veličinu i funkciju sistemnog desnog ventrikla, značaj trikuspidne insuficijencije te subpulmonalnu opstrukciju. Nakon anatomske korekcije najčešće MR-om detektiramo stenozu plućnih arterija na mjestu gdje prolaze uz ascendentnu aortu, a možemo prikazati i stenozu koronarnih arterija na mjestu anastomoze s neoaortom, dilataciju neoaorte, stenozu izgonskih dijelova klijetke, odnosno insuficijenciju neoaortne i neopulmonalne valvule. U bolesnika s kongenitalno korigiranom transpozicijom MR služi za procjenu veličine i funkcije sistemske desne klijetke, kao i za kvantifikaciju insuficijencije trikuspidne valvule (21).

U anomalija s funkcijski jednim ventrikulom, MR se često koristi za procjenu Fontanove cirkulacije, odnosno potpune kavo-pulmonalne konekcije, kao i za preciznu procjenu veličine i funkcije ventrikla (13). Zbog svog smještaja provodnici koji spajaju gornju i donju šuplju venu s plućnim arterijama su često nepotpuno dostupni ultrazvučnom pregledu. Na provodnicima se mogu razviti stenozu koje dovode do znakova zastoja u sistemnom venskom krvotoku i lako se prikazuju MR angiografijom.

Zaključak

MR je vrlo vrijedna metoda u obradi bolesnika s prirodnim srčanim greškama jer na neinvazivan način, bez primjene ionizirajućeg zračenja omogućuje

preciznu procjenu veličine i funkcije klijetki, valvularnih grešaka, ekstrakardijalnih vaskularnih anomalija te procjene značaja shunta. U male djece pretraga se radi rijetko zbog duljine pregleda i potrebe za općom anestezijom, dok je u sve većoj primjeni u suradljive djece (obično starije od 8 godina) i odraslih.

Skraćenice:

CT - kompjutorizirana tomografija
EKG - elektrokardiogram
MR - magnetna rezonancija

NOVČANA POTPORA/FUNDING

Nema/None

ETIČKO ODOBRENJE/ETHICAL APPROVAL

Nije potrebno/None

SUKOB INTERESA/CONFLICT OF INTEREST

Autori su popunili the *Unified Competing Interest form* na www.icmje.org/doi_disclosure.pdf (dostupno na zahtjev) obrazac i izjavljuju: nemaju potporu niti jedne organizacije za objavljeni rad; nemaju financijsku potporu niti jedne organizacije koja bi mogla imati interes za objavu ovog rada u posljednje 3 godine; nemaju drugih veza ili aktivnosti koje bi mogle utjecati na objavljeni rad./ *All authors have completed the Unified Competing Interest form at www.icmje.org/doi_disclosure.pdf (available on request from the corresponding author) and declare: no support from any organization for the submitted work; no financial relationships with any organizations that might have an interest in the submitted work in the previous 3 years; no other relationships or activities that could appear to have influenced the submitted work.*

LITERATURA

1. Marelli AJ, Mackie AS, Ionescu-Iltu R, Rahme E, Pilote L. Congenital heart disease in the general population: changing prevalence and age distribution. *Circulation*. 2007; 115: 163-72. doi: 10.1161/CIRCULATIONHA.106.627224.
2. Hoffman JI, Kaplan S. The incidence of congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol*. 2002; 39: 1890-900. doi: 10.1016/S0735-1097(02)01886-7.
3. Kilner PJ, Geva T, Kaemmerer H, Trindade PT, Schwitzer J, Webb GD. Recommendations for cardiovascular magnetic resonance in adults with congenital heart disease from the respective working groups of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. 2010; 31: 794-805. doi: 10.1093/eurheartj/ehp586.
4. Driessen MM, Breur JM, Budde RP et al. Advances in cardiac magnetic resonance imaging of congenital heart disease. *Pediatr Radiol*. 2015; 45: 5-19. doi: 10.1007/s00247-014-3067-0.

5. Bruder O, Schneider S, Nothnagel D et al. Acute adverse reactions to gadolinium-based contrast agents in CMR: multicenter experience with 17,767 patients from the EuroCMR Registry. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2011; 4: 1171-6. doi: 10.1016/j.jcmg.2011.06.019.
6. Prince MR, Zhang H, Zou Z, Staron RB, Brill PW. Incidence of immediate gadolinium contrast media reactions. *AJR Am J Roentgenol*. 2011; 196: 138-43. doi: 10.2214/AJR.10.4885.
7. Dillman JR, Ellis JH, Cohan RH, Strouse PJ, Jan SC. Frequency and severity of acute allergic-like reactions to gadolinium-containing i.v. contrast media in children and adults. *AJR Am J Roentgenol*. 2007; 189: 1533-8. doi: 10.2214/AJR.07.2554.
8. European Society of Urogenital Radiology, ESUR Guidelines on Contrast Media. v. 9.0. European Society of Urogenital Radiology, 2015, www.esur-cm.org.
9. Kanda T, Nakai Y, Oba H, Toyoda K, Kitajima K, Furu S. Gadolinium deposition in the brain. *Magn Reson Imaging*. 2016; 34: 1346-50. doi: 10.1016/j.mri.2016.08.024.
10. Nardone B, Saddleton E, Laumann AE et al. Pediatric nephrogenic systemic fibrosis is rarely reported: a RADAR report. *Pediatr Radiol*. 2014; 44: 173-80. doi: 10.1007/s00247-013-2795-x.
11. Ntsinjana HN, Hughes ML, Taylor AM. The role of cardiovascular magnetic resonance in pediatric congenital heart disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2011; 13: 51. doi: 10.1186/1532-429X-13-51.
12. Valsangiacomo Buechel ER, Grosse-Wortmann L, Fratz S et al. Indications for cardiovascular magnetic resonance in children with congenital and acquired heart disease: an expert consensus paper of the Imaging Working Group of the AEPC and the Cardiovascular Magnetic Resonance Section of the EACVI. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015; 16: 281-97. doi: 10.1093/ehjci/jeu129.
13. Fratz S, Chung T, Greil GF et al. Guidelines and protocols for cardiovascular magnetic resonance in children and adults with congenital heart disease: SCMR expert consensus group on congenital heart disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 51. doi: 10.1186/1532-429X-15-51.
14. Boiselle PM, Bremerich J, de Roos A, Greenberg SB, Ordovas K. Expert opinion: computed tomography versus magnetic resonance imaging for young adults with congenital heart disease. *J Thorac Imaging*. 2013; 28: 331. doi: 10.1097/RTI.0000000000000049.
15. Keenan NG, Pennell DJ. CMR of ventricular function. *Echocardiography*. 2007; 24: 185-93. doi: 10.1111/j.1540-8175.2007.00375.x.
16. Luijnenburg SE, Robbers-Visser D, Moelker A, Vliegen HW, Mulder BJ, Helbing WA. Intra-observer and interobserver variability of biventricular function, volumes and mass in patients with congenital heart disease measured by CMR imaging. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2010; 26: 57-64. doi: 10.1007/s10554-009-9501-y.
17. Ordovas KG, Muzzarelli S, Hope MD et al. Cardiovascular MR imaging after surgical correction of tetralogy of Fallot: approach based on understanding of surgical procedures. *Radiographics*. 2013; 33: 1037-52. doi: 10.1148/rg.334115084.
18. Wald RM, Valente AM, Gauvreau K et al. Cardiac magnetic resonance markers of progressive RV dilation and dysfunction after tetralogy of Fallot repair. *Heart*. 2015; 101: 1724-30. doi: 10.1136/heartjnl-2015-308014.
19. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*. 2014; 129: 2440-92. doi: 10.1161/CIR.0000000000000029.
20. Hom JJ, Ordovas K, Reddy GP. Velocity-encoded cine MR imaging in aortic coarctation: functional assessment of hemodynamic events. *Radiographics*. 2008; 28: 407-16. doi: 10.1148/rg.282075705.
21. Bonello B, Kilner PJ. Review of the role of cardiovascular magnetic resonance in congenital heart disease, with a focus on right ventricle assessment. *Arch Cardiovasc Dis*. 2012; 105: 605-13. doi: 10.1016/j.acvd.2012.04.005.

Summary

THE ROLE OF CARDIAC MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN EVALUATION
OF PATIENTS WITH CONGENITAL HEART DISEASE

M. Hrabak-Paar, T. Balaško

Context: Advances in diagnostics and treatment have significantly improved survival of patients with congenital heart disease, but the patients have residual morphologic and hemodynamic changes that require lifelong follow-up. Although echocardiography is the first imaging method for evaluation of cardiac morphology and function, magnetic resonance imaging is an increasingly used complementary technique.

Aim: to illustrate the process of cardiovascular magnetic resonance imaging with the special emphasis on congenital heart disease.

Data resource: the guidelines of societies for cardiology, pediatric cardiology and cardiovascular magnetic resonance, as well as scientific papers on cardiovascular imaging in patients with congenital heart disease were used for data collection.

Results: Cardiac magnetic resonance imaging is the reference standard for the evaluation of the right ventricular size and function and for quantification of pulmonary insufficiency, and is therefore very important in follow-up of patients after tetralogy of Fallot repair. Using magnetic resonance imaging it is possible to estimate the shunt significance by the flow measurement through the pulmonary artery and ascending aorta, to depict mediastinal vessels using angiography, and to detect myocardial scarring using late gadolinium enhancement.

Conclusion: Magnetic resonance imaging is a valuable tool in evaluation of patients with congenital heart disease because it allows precise noninvasive assessment of ventricular volumes and function, valvular disease, extracardial vascular anomalies and shunt significance without use of ionizing radiation. In small children it is rarely performed because of long duration of the examination and need for general anesthesia, but it is increasingly used in older children and adults.

Descriptors: CONGENITAL HEART DISEASE, MAGNETIC RESONANCE IMAGING

Primljeno/Received: 17. 2. 2017.

Prihvaćeno/Accepted: 15. 3. 2017.