

OSNOVE MAGNETNO RESONANČNEGA SLIKANJA SRCA

FUNDAMENTALS OF CARDIAC MAGNETIC RESONANCE IMAGING

Rok Us^{1,2}, Martin Jereb², Tina Robida³

¹ Univerzitetni klinični center Ljubljana, Klinični inštitut za radiologijo, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana

² Študent druge stopnje, Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Oddelek za radiološko tehnologijo, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana

³ Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Center za klinično fiziologijo, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: Rok Us, dipl. inž. rad.tehnol. E-mail: rok3us@gmail.com

Prejeto/Received: 17. 1. 2019

Sprejeto/Accepted: 9. 5. 2019

IZVLEČEK

Uvod: Magnetno resonančno (MR) slikanje omogoča neinvazivno odkrivanje in opredelitev nepravilnosti na srcu. Gre za tehnično in strokovno zahteven poseg, ki zaradi nenehnega gibanja srca zahteva uporabo dodatne tehnične opreme, edinstvena anatomija in strukturna variabilnost pa vrhunsko usposobljenost izvajalcev.

Namen: Opisati želimo splošne smernice za izvedbo MR slikanja srca vključno s pripravo in namestitvijo pacienta, predstavitev uporabljenih pulznih zaporedij, izbiro parametrov slikanja, pristopov k usklajenemu slikanju, metodami za pospešitev slikanja in nastavitvijo rezin.

Metode: Pri opisovanju pojmov smo uporabili metodo deskripcije, pri uporabi izpiskov, navedb in citatov drugih avtorjev pa metodo kompilacije. Izbrali smo predvsem knjižna dela v angleškem jeziku, ki celovito obravnavajo vsaj en vidik naše tematike.

Rezultati in razprava: Povzeli smo natančen postopek varne priprave in namestitve pacienta. Osredotočili smo se tudi na problem kovinskih vsadkov. Izpostavili smo problem gibanja pri slikanju srca in pristope za zmanjševanje artefaktov zaradi srčnega utripa in dihanja. Opisali smo pulzna zaporedja pri slikanju temne krvi, svetle krvi in tehnike za pospešitev slikanja. Predstavili smo njihove karakteristike in izpostavili za kakšen namen se jih uporablja. Podkrepljeno s slikovnim materialom smo predstavili osnovne ravnine pri MR slikanju srca (4 votline, 2 votlini, kratka os) in načine za njihovo nastavitvev.

Zaključek: Besedilo daje pregled osnovne MR preiskave srca vključujoč pripravo pacienta, uporabe pulznih zaporedij in nastavitve ravnin. Smiselne nadgradnje obsegajo vsebinske poglobitve načetih tematik ter obravnavo dopolnilnih ravnin in bolj naprednih načinov MR slikanja srca.

Ključne besede: srce, magnetna resonanca, MR, slikanje, preiskava, struktura, funkcija, pulzna zaporedja, ravnine, proženje

ABSTRACT

Introduction: MR imaging facilitates the noninvasive detection and characterisation of cardiac pathology. Due to the constant movement of the heart, cardiac MR imaging is a technically demanding and knowledge-intensive procedure.

Aim: We wish to describe a set of general guidelines for a cardiac MR examination, including patient preparation and safety, pulse sequences, imaging parameters, gating and triggering techniques, specific imaging methods and slice orientation.

Methods: We utilised the method of description when dealing with novel terms and concepts. We also deployed the compilation method to condense relevant information from other authors. We primarily selected English language sources that comprehensively discuss at least one part of the subject matter.

Results and discussion: We provide a precise overview of appropriate patient preparation and safety precautions in connection with a cardiac MRI examination. We also focused on the problem of ferromagnetic implants. We call attention to the problem of movement and the usual methods for its resolution: reducing heart rate and respiration artefacts. We further describe bright blood and dark blood pulse sequences as well as several methods for accelerating the imaging process. Accentuated with image material, we provide an analysis of slice orientation (4 chambers, 2 chambers and short axis) based on three extensive sources.

Conclusion: This text gives an overview of a very basic cardiac MRI examination. Potential directions for further work include deeper studies of our subtopics as well as reviews of supplemental cardiac planes and more advanced cardiac MR imaging methods.

Keywords: heart, magnetic resonance imaging, MRI, medical imaging, cardiac imaging, structure, function, pulse sequence, imaging plane, gating, triggering

UVOD

Bolezni srca so v razvitem svetu pomemben vzrok obolevnosti in umrljivosti. Slikovna obravnava srca je ključnega pomena pri zgodnjem odkrivanju in opredelitvi teh nepravilnosti. MR slikanje omogoča neinvazivno strukturno in funkcionalno oceno srca brez sevalne obremenitve pacienta (von Knobelsdorff-Brenkenhoff, 2016).

MR slikanje srca je zapleten poseg, ki zaradi nenehnega gibanja srca zahteva uporabo dodatne tehnične opreme, edinstvena anatomija in strukturna variabilnost pa vrhunsko usposobljenost izvajalcev (von Knobelsdorff-Brenkenhoff, 2016).

MR slikanje fizikalno temelji na lastnostih vodikovih atomskih jeder. Če ta jedra izpostavimo radijskim valovom točno določene frekvence, lahko povzročimo, da po točno določenem času oddajo značilno elektromagnetno valovanje - odmev. Jakost vrnjenih valov se razlikuje glede na to, v kakšne molekule so vodikovi atomi vezani. Te razlike so osnova za visoko kontrasten prikaz mehkih tkiv (Bushberg et al., 2012).

NAMEN

V članku želimo opisati splošne smernice za izvedbo MR slikanja srca s pomočjo izbrane literature, ki vključujejo varno pripravo in namestitev pacienta, predstavitev uporabljenih pulznih zaporedij, izbiro parametrov slikanja, pristope k usklajenemu slikanju, metode za pospešitev slikanja in nastavitvev rezin.

METODE DELA

Uporabili smo metodo deskripcije pri opisovanju pojmov in metodo kompilacije pri uporabi izpiskov, navedb in citatov drugih avtorjev. Slednje smo uporabili predvsem za preučevanje teorije in praktičnih zapisov iz uporabljene literature. Literaturo v slovenskem in angleškem jeziku smo iskali v podatkovnih bazah COBISS, Google Books ter bazi knjižnice Zdravstvene fakultete. Ključne besede pri iskanju virov so bile: srce, magnetna resonanca, preiskava srca, struktura srca, funkcija, pulzna zaporedja, ravnine, proženje, vzporedno slikanje, kino posnetki. Iskanje smo izvedli v slovenskem in angleškem jeziku. Uporabili smo predvsem knjižna dela, ki celovito obravnavajo vsaj en vidik naše tematike in so v celoti dostopna v fizični ali elektronski obliki. Na knjižne vire smo se omejili, ker so bili vsebinsko najbolj skladni z našo, relativno splošno, tematiko. Ostali viri so bili namreč za naš namen pretirano poglobljeni, vsebinsko ozki in utemeljeni na predpostavki o visokem nivoju predznanja v zvezi z dotično preiskavo.

REZULTATI IN RAZPRAVA

V nadaljevanju opisujemo smernice za izvedbo osnovnega MR slikanja srca vključno z varnostjo in pripravo pacienta, predstavitev uporabljenih pulznih zaporedij, izbiro parametrov slikanja, pristopov k usklajenemu slikanju, metodami za pospešitev slikanja in nastavitvijo rezin.

Varnost in priprava pacienta

Pri MR preiskavi srca je poleg splošnih varnostnih ukrepov za MR slikanje potrebno obvladovati tudi dodatna tveganja, ki so značilna za obravnavo srca. Dobra radiološka praksa veleva, da naj bo preiskovanec še pred prihodom pisno poučen o značilnostih MR slikanja. Informativnemu gradivu naj bo priložen standardni vprašalnik za MR slikanje. Vprašalnik mora vsebovati vprašanja o telesni teži ter višini, morebitnih vsadkih, klavstrofobiji in zahtevo po soglasju. Če je predvidena uporaba kontrastnega sredstva, so potrebna še dodatna vprašanja v zvezi s tem (Podobnik, 2016).

Preiskovanci z vsadki naj pred preiskavo priskrbijo dokumentacijo, ki potrjuje združljivost vseh vsadkov z magnetnim poljem MR tomografa. Večina ortopedskih vsadkov je MR varnih. Posebna pozornost je potrebna pri starejših umetnih zaklopkah, sponkah za zdravljenje anevrizem in kovinskih delcih, ki so v preiskovancu ostali po poškodbi. Če ima pacient notranji defibrilator ali umetni srčni spodbujevalnik, moramo dosledno ravnati po navodilih proizvajalca (Bluemke et al., 2008).

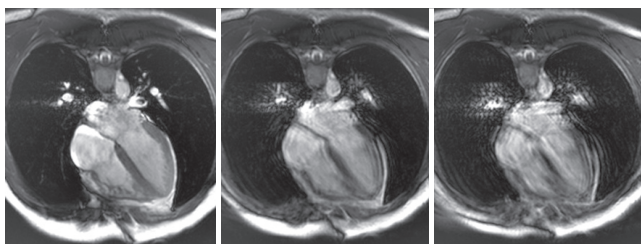
Kljub temu, da kovinski vsadki niso feromagnetni, obstaja možnost za indukcijo električnega toka ali za koncentrirano absorpcijo radijsko frekvenčne (RF) energije in posledično močno segrevanje. Enako velja pri morebitnih kovinskih komponentah opreme za usklajeno slikanje. Zato je pomembno, da žičnati elementi ne tvorijo zank, se ne križajo in ne dotikajo pacienta ali MR tomografa. Tovrstna oprema mora biti podložena in nameščena vzdolž sredine preiskovančevega telesa (Westbrook et al., 2011).

Po prihodu preiskovanca pregledamo vprašalnike, soglasja in dokumentacijo. Sledi preverjanje istovetnosti. Za tem pacient prejme še ustno razlago postopka in navodila. Priporočeno je, da se preiskovanec sleče do spodnjih hlač in odstrani ostale predmete, ki bi lahko motili slikanje. Pacienta pospremimo do tomografa in poskrbimo, da se uleže na hrbet z glavo naprej. Preiskovanca poravnamo po vzdolžni osi. Če je predvidena uporaba kontrastnega sredstva (KS), vstavimo periferno veno kanilo (PVK). Opremo za usklajeno slikanje namestimo v skladu z navodili. Na koncu namestimo še protihrupne slušalke in sprejemno tuljavo ter zapustimo prostor (Podobnik, 2016).

Gibanje

Za vsako slikanje velja, da gibanje objekta med zajemanjem podatkov povzroči popačenje. Ta težava je pri MR slikanju posebej poudarjena, saj je zajemanje podatkov relativno dolgotrajno. Naš objekt, srce, se giblje zaradi dihanja in zaradi lastnega delovanja (McRobbie, 2006).

Največja komponenta dihalnih premikov poteka v kranio-kavdalni smeri medtem, ko je gibanje vzdolž ostalih dveh anatomskih osi manj obsežno. Pogost pristop k reševanju te težave je slikanje v zadržanem dihu. Izvedba ni zamudna in ne zahteva dodatne opreme. Žal je učinkovitost metode optimalna le, kadar slikamo znotraj razdobja enega ekspirija. Klinična uporabnost tega pristopa je omejena, ker zahteva dober status pacienta in njegovo aktivno sodelovanje (Axel, Lim, 2018).



Slika 1: Vpliv gibanja na kakovost MR slike: levo slikanje v zadržanem ekspiriju, v sredini slikanje pri plitvem dihanju, desno slikanje pri globokem dihanju

Bolj dovršena metoda je, da zajemanje podatkov uskladimo z dihalnim ciklom. Informacijo o dihanju lahko pridobimo na podlagi periodičnih sprememb značilnosti signala (angl. self-gating), s pomočjo mehničnega merilnika dihanja ali z uporabo navigatorja. Navigator temelji na hitrem periodičnem slikanju stolpičastega polja s sredino na kupoli diafragme, ki poteka sočasno z diagnostično preiskavo (Lamb, Plaenick, 2008).

Med fazami dihalnega cikla je za slikanje srca najbolj ugoden skrajni ekspirij, saj zagotavlja največjo doslednost položaja. Vsaka tehnika sledenja dihanju v živo razkriva podatke o polnitvi pljuč, ki jih je smiselno prikazovati v obliki histograma. Ta služi kot osnova za izbor ustreznih nastavitev proženega ali merjenega slikanja (Kastler, 2011).

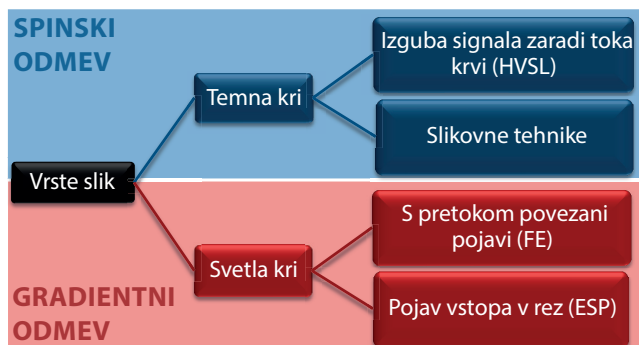
Večja težava kot dihanje je bitje srca. Najboljši način, da se izognemo popačenjem slike s tega naslova je uporaba sistema za zajemanje vektorskega kardiograma (VKG). Gre za pripravo, ki spominja na diagnostični elektrokardiograf, a je prilagojena za delovanje v MR tomografu: elektrode so nameščene bližje skupaj, namesto bakrenih vodnikov koristi optična vlakna, namesto vrste 2D odvodov pa beleži podatke o velikosti in usmerjenosti vektorja napetosti. Prvi dve prilagoditvi preprečujeta indukcijo motečih ali nevarnih tokov v napravi. Tretja prilagoditev pa omogoča lažje ločevanje med merodajnim QRS kompleksom ter T valom, ki je znotraj MR tomografa bolj poudarjen zaradi seštevanja z elektrohidrodinamskim učinkom (McRobbie, 2006).

Med fazami srčnega cikla je za slikanje najbolj ugodna diastaza, vendar pa pogosto slikamo tudi v drugih delih prekatne diastole (Didier, Ratib, 2003). Nastavitve proženja ali merjenja je potrebno prilagoditi glede na hitrost in pričakovano doslednost pacientovega srčnega ritma. Posebej pomembno je, da protokol primerno prilagodimo ob prisotnosti aritmije (Westbrook et al., 2011).

Usklajeno slikanje delimo na prospektivno proženo slikanje ter retrospektivno merjeno slikanje. Pri prvem slikamo v presledkih. Podatki o dihanju in utripanju srca nam omogočajo, da podatke zajamemo samo ob sovpadanju ekspirija in diastole. Proženje ponavadi uporabljamo za pridobivanje visoko ločljivih stacionarnih posnetkov temne krvi. Pri retrospektivnem merjenju slikamo nepretrgoma. Ob slikanju zajemamo še podatke o srčnem in dihalnem ciklu, ki jih kasneje uporabimo za razvrščanje podatkov v različne slike. Na tak način dobimo slike srca v različnih fazah cikla. Merjenje ponavadi uporabljamo za pridobivanje srednje ločljivih gibljivih posnetkov svetle krvi (Didier, Ratib, 2003).

Pulzna zaporedja

Pri MR slikanju srca uporabljamo dve glavni skupini pulznih zaporedij: zaporedja za slikanje temne krvi, ki temeljijo na spinskem odmevu in zaporedja za slikanje svetle krvi, ki temeljijo na gradientnem odmevu (slika 2).



Slika 2: Pulzna zaporedja s spinskim odmevom uporabljamo za slikanje temne krvi, tista z gradientnim odmevom pa za slikanje svetle krvi (Us, Jereb, 2018)

Signal zaradi spinskega odmeva nastane samo, kadar jedra prejmejo dva resonančna pulza: 90° in 180°. Če jedra v razdobju TE/2 zapustijo slikano rezino, ne prejmejo obeh sunkov in signala ne oddajo. To se imenuje izguba signala zaradi toka (high velocity signal loss; HVSL). Izrazitost HVSL določa enačba na sliki 3 in je največja, kadar je čas odmeva (TE) dolg, rezina tanka, tok pa hiter in pravokoten na rezino. Slabost daljšanja TE in tanjšanja rezin je nižje razmerje signal-šum (RSŠ). Poleg tega v območjih s počasnim pretokom nastaja paradoksalno ojačanje signala (McRobbie, 2006).

$$HVSL = \frac{|v| \cos \phi}{\frac{z}{TE}}$$

Slika 3: Izrazitost HVSL narašča s komponento hitrosti, ki je pravokotna na ravnino slikanja ter pada s kvocinetom debeline rezine in časa TE (McRobbie, 2006)

Naštete težave rešujemo s tehniko priprave z dvojnimi obratom. Slednja sestoji iz začetnega "mehkega" 180° sunka, ki zaradi svoje frekvenčne širokopasovnosti obrne magnetizacijo ne glede na rezino. Sledi "trdi", rezno selektiven 180° sunek, ki znotraj izbrane rezine povrne izhodiščno stanje. Ko učinek "mehkega" sunka prehaja prek ničte točke, sprožimo običajno pulzno zaporedje za spinski odmev. Pristop lahko nadgradimo z vstavitvijo dodatnega trdega in za maščevje spektralno specifičnega 180° pulza med oba že navedena 180° sunka. Govorimo o pripravi s trojnimi obratom (Bushberg et al., 2012). Westbrook et al. (2011) navaja še tehniko predhodnega prostorskega zasičenja. Ta predstavlja posebno prednost pri zajemanju T1 in PG poudarjenih slik, kjer je HVSL zaradi kratkega TE neizrazit. Poleg tega omogoča izničenje popačenj zaradi pulziranja. Slabosti prostorskega zasičenja sta višja absorpcija energije (SAR) in nižja omejitev števila rezov v enem paketu.



Slika 4: Tehnike za ojačanje kontrasta na slikah temne krvi (Us, Jereb, 2018)

Slikanje svetle krvi temelji na zajemanju signala gradientnega odmeva. Kontrastnost med pretočno krvjo in ostalimi tkivi je posledica pojava vstopa v rez - entry slice phenomenon (ESP). Jedra, ki so glede na izbrano rezino nepremična, prejmejo več zaporednih RF sunkov. Ker čas ponovitve (TR) ni zelo dolg, pride do delnega zasičenja stacionarnih jeder. Jedra, ki se gibljejo pravokotno na rezino slikanja, znotraj rezine ostanejo le krajši čas in ne prejmejo veliko RF sunkov. Posledično niso podvržena zasičenju in oddajo močnejši signal v primerjavi s stacionarnimi (Bushberg et al., 2012). ESP je bolj izrazit pri nižjem TR, tanjših rezinah in večji pravokotni komponenti hitrosti pretoka. Relativna kontrastnost je večja pri daljšem T1 stacionarnih tkiv. Pri večrezinskem slikanju je kontrastnost večja, kadar je zaporedje rezin obratno glede na smer pretoka (McRobbie, 2006).

Glavna odlika slikanja svetle krvi je hitrost. Za takšno zajemanje uporabljamo najhitrejšo obliko gradientnega pulznega zaporedja, ki še vsebuje teoretično nujne komponente: zaporedja proste precesije v stabilnem stanju - SSFP. Najpogosteje koristimo tehniko SSFP-FID, ki se pojavlja pod imenom FLASH, T1-FFE ali SPGR ter tehniko uravnoteženega SSFP, ki se pojavlja pod imenom bSSFP, BFFE, FIESTA ali TrueFISP (Hargreaves, 2012).

Če slikanje svetle krvi združimo s tehnikami usklajenega slikanja, lahko ustvarimo animiran prikaz splošnega in regionalnega srčno-mišičnega delovanja (McRobbie, 2006). Najpogosteje se uporablja metoda hitrega retrospektivnega merjenja srca. Proženje pulznih zaporedij in zajemanje podatkov poteka nepretrgoma, pri čemer R-zobce uporabljamo kot vodilo za zadostno fazno zajemanje. Za vsak fazni korak zajamemo podatke iz več delov srčnega cikla. Podatke shranjujemo v najmanjših možnih kosih skupaj z njihovim časovnim žigom (Kastler, 2011). Shranjene podatke naknadno razporedimo. Glede na željeno časovno ločljivost razdelimo srčni cikel na več kadrov. Vsakemu kadru dodelimo časovni položaj znotraj R-R razdobja ter lasten k-prostor. K-prostore razdelimo na segmente, ki vsebujejo izbrano število faznih korakov. Segmente posameznih kadrov zapolnimo s podatki, ki jim najbolj ustrezajo (Graves, 2006).

Posebne tehnike

Za optimalno MR slikanje srca se poleg že naštetih tehnik poslužujemo tudi paralelnega slikanja, delnega Fourierjevega zajemanja in UNFOLD pristopa.

Paralelno slikanje je možno, kadar za zajemanje signala uporabljamo več sprejemnih tuljav hkrati. Če tuljave zajemajo različne ozire signala, lahko na podlagi predznanja o njihovih lastnostih hitreje polnimo k-prostor (Bushberg et al., 2012).

Ločimo paralelno slikanje v prostorski domeni, SENSE, in paralelno slikanje v frekvenčni domeni, SMASH. Velja, da s paralelno tehniko krajšamo TA za faktor R. R je najmanj enak 1 in največ enak številu tuljav. Pri tem RSŠ pada najmanj za faktor \sqrt{R} (Graves, 2006).

Delno Fourierjevo zajemanje je pristop, kjer k-prostor delno napolnimo z zajetimi podatki, preostale vrednosti pa izpeljemo na podlagi predpostavke o konjugatni simetriji k-prostora. Kadar delno zajemanje izvajamo v fazni smeri, znižamo število faznih korakov in skrajšamo TA. Kadar delno zajemanje poteka v frekvenčni smeri, krajšamo TE in omogočamo zajemanje bolj izrazito PG in T1 poudarjenih posnetkov (Markl, 2008). Tudi pri tej tehniki velja, da RSŠ pade za kvadratni koren pospešitve. Tehnika je dovzetna za popačenja zaradi nehomogenosti magnetnega polja, nepravilnih gradientov in prisotnosti paramagnetnih snovi (Bushberg et al., 2012).

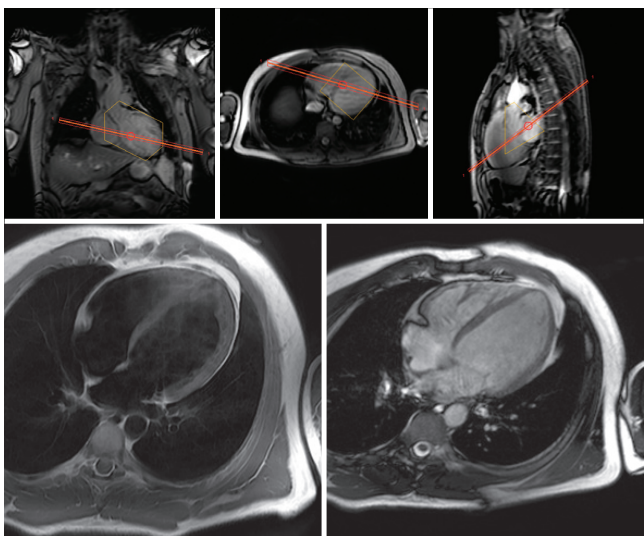


Slika 5: Osnovna delitev tehnik delnega Fourierjevega zajemanja (Us, Jereb, 2018)

UNFOLD pristop temelji na doslednem linearnem prepletenem polnjenju k-prostora. Omogoča razgrnitev popačenj zaradi periodičnega gibanja. UNFOLD pristop je združljiv s SENSE tehniko v obliki t.i. T-SENSE. UNFOLD pristop lahko nadgradimo tudi s posebnim referenčnim posnetkom in dobimo k-t BLAST. Kadar k-t BLAST združimo s paralelnim slikanjem, dobimo k-t SENSE (Madore, 2008).

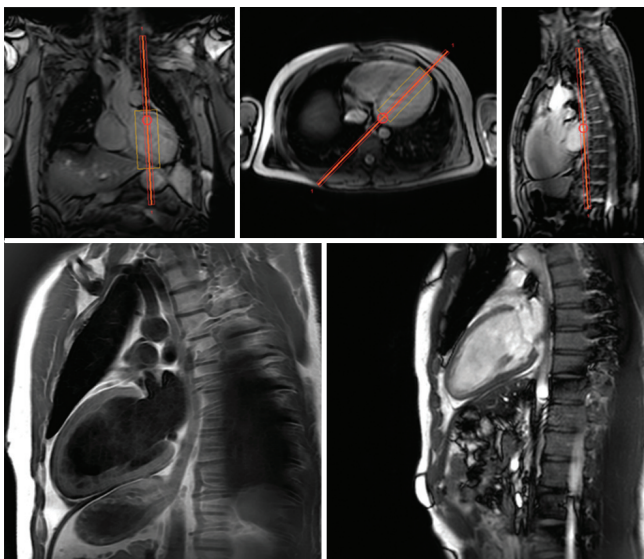
Ravnine

Osnovne ravnine pri MR slikanju srca so slika štirih votlin, slika dveh votlin in slika v kratki osi. Ravnine so orientirane glede na glavne gradnike srca in ležijo pravokotno ena na drugo. Takšna postavitve nam je umljiva, saj omogoča celovito in natančno ocenjevanje srca v vseh treh prostorskih razsežnostih na podlagi dvodimenzionalnih slik. S tem izkoriščamo dejstvo, da je znotrajravninska prostorska ločljivost običajnih MR posnetkov bistveno boljše od medravninske (Us, Jereb, 2018). Slika štirih votlin leži para-transverzalno in prikazuje pravilni sredinski vzdolžni preseki obeh preddvorov in obeh prekatov. Pretin je prikazan v pravokotnem vzdolžnem preseku. Zajeto je središče mitralne zaklopke in skrajna konica levega prekata. Aortna zaklopka leži iznad ravnine slikanja (Us, Jereb, 2018).



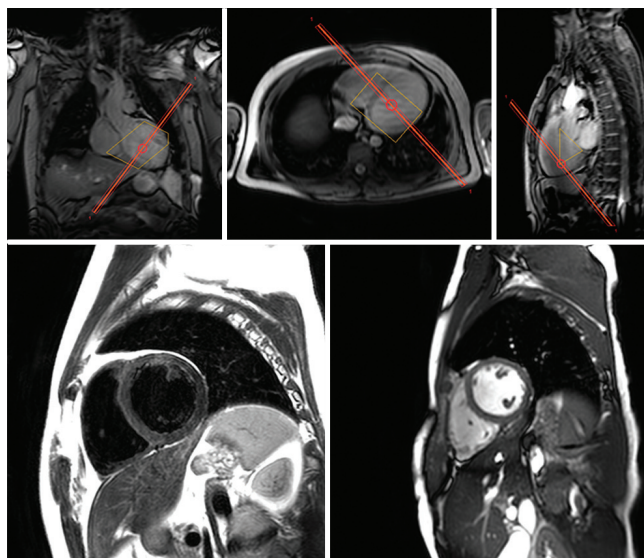
Slika 6: Nastavitev slike štirih votlin na preglednih posnetkih prsnega koša (zgoraj) ter primer slike temne krvi (spodaj levo) in izsek iz posnetka svetle krvi (spodaj desno) (Us, Jereb, 2018)

Slika dveh votlin leži para-sagitalno in prikazuje pravilni sredinski vzdolžni presek levega srca. Zajeto je središče mitralne zaklopke in skrajna konica levega prekata. Ravnina je vzporedna s pretinom (Us, Jereb, 2018).



Slika 7: Nastavitev slike dveh votlin na preglednih posnetkih prsnega koša (zgoraj) ter primer slike temne krvi (spodaj levo) in izsek iz posnetka svetle krvi (spodaj desno) (Us, Jereb, 2018)

Slika kratke osi leži para-koronarno in prikazuje pravilni prečni presek levega in desnega prekata. Pretin je prikazan v pravokotnem prečnem preseku. Obe atrio-ventrikularni zaklopki v celoti ležita kranio-dorzalno od ravnine slikanja (Us, Jereb, 2018).



Slika 8: Nastavitev slike kratke osi na preglednih posnetkih prsnega koša (zgoraj) ter primer slike temne krvi (spodaj levo) in izsek iz posnetka svetle krvi (spodaj desno) (Us, Jereb, 2018)

Glede točne orientacije ravnin pri MR preiskavi srca in glede postopka njihove nastavitve ni splošno veljavnega dogovora. Opisanih je več postopkov za pridobitev posnetkov v treh osnovnih ravninah. Ti se med seboj bolj ali manj razlikujejo. Skupno jim je zanašanje na nekatere orientacijske točke v srcu, niso pa usklajeni glede načina za ugotavljanje lege teh točk. Sledi pregled razhajanj med nastavitvami ravnin, ki so opisana v treh obsežnih knjižnih delih, posvečenih MR preiskavam srca. Prve razlike se pojavijo že pri številu serij preglednih slik. Protokol, ki ga predlagata Axel in Lim (2008), vsebuje 2 seriji preglednih slik v vseh treh ravninah ter pregledne slike štirih votlin, dveh votlin in kratke osi. Protokol po Stuartu (Stuart et al., 2018) tem serijam doda še serijo od 18 do 20 transverzalnih rezin. Protokol Bogaerta (2012) pa omenja samo začetni 2 seriji preglednih slik in se nato takoj osredotoči na nastavitve ravnin za diagnostične posnetke. Vsi avtorji za nastavitve ravnin za diagnostično obravnavo uporabijo pregledne slike, a prihaja do razhajanj med njimi glede nastavitve.

Diagnostično slikanje štirih votlin po Axelu in Limu (2008) orientiramo pravokotno na pregledno serijo kratke osi. Režine morajo potekati prek sredine presekov obeh ventrikularnih baz, pravokotno prehajati prek septuma in ležati kavalno od aortne zaklopke. Diagnostično slikanje dveh votlin ravnino pravokotno glede na pregledni prerez štirih votlin tako, da poteka prek sredine mitralne zaklopke in vrha levega prekata. Diagnostične slike kratke osi preprosto poravnamo pravokotno glede na diagnostične slike štirih in dveh votlin. Po Bogaertu (2012) na pregledni sliki, kjer je viden levi prekat nastavimo ravnino za vertikalno dolgo os, ki je pravokotna na transverzalne slike ter hkrati seka vrh levega prekata in sredino mitralne zaklopke. Dobljeno sliko uporabimo za nastavitev ravnine horizontalne dolge osi, ki mora biti pravokotna na vertikalno in hkrati sekati sredino mitralne zaklopke ter vrh levega prekata. Ravnina, ki je pravokotna na obe dolgi osi, ustreza grobi kratki srčni osi. Ravnino za prikaz štirih votlin poravnamo na grobi kratki srčni osi tako, da je na slednjo pravokotna ter zajema tako antero-lateralno papilarno mišico kot tudi inferiorni angulus desnega prekata. Slike v pravi kratki srčni osi dobimo, če je ravnina

pravokotna na prerez štirih votlin in hkrati čim bolj pravokotna na septum ter vzporedna z obodom mitralne zaklopke.

Po Stuartovem protokolu (Stuart et al., 2018), ki je povzet po Siemsenovi predlogi, diagnostični posnetek dveh votlin nastavimo na pregledni sliki štirih votlin in kratke osi. Režine na obeh slikah nastavimo vzporedno s septumom in na sliki štirih votlin v režine zajamemo še apeks in mitralno zaklopko. Za diagnostični prikaz štirih votlin, režine nastavimo na pregledni sliki dveh votlin preko sredine mitralne zaklopke in apeksa ter na pregledni sliki kratke osi preko antero-lateralne papilarne mišice in konice desnega prekata. Režine za diagnostični prikaz kratke osi pa nastavimo tako, da jih na pregledni sliki dveh votlin poravnamo pravokotno na linijo, ki povezuje apeks in središče mitralne zaklopke. Režine poravnamo pravokotno na septum še na pregledni sliki štirih votlin.

ZAKLJUČEK

V prispevku smo povzeli postopek priprave pacienta na MR slikanje srca in varnostne ukrepe, ki so specifični za to preiskavo. Izpostavili smo problem gibanja zaradi dihanja in utripanja srca ter kot možno rešitev opisali pristop usklajenega slikanja. Ločili smo dve vrsti usklajenega slikanja: prospektivno proženje in retrospektivno merjenje. Opredelili smo skupino pulznih zaporedij za slikanje temne krvi, ki temeljijo na spinskem odmevu ter skupino pulznih zaporedij za slikanje svetle krvi, ki temeljijo na gradientnem odmevu. Povzeli smo lastnosti treh tehnik pospešenega slikanja: paralelna slikanje, delno Fourierjevo zajemanje in UNFOLD pristop. Izpostavili smo dejstvo, da manjka soglasje glede postopka nastavitve osnovnih ravnin pri MR slikanju srca in glede njihove natančne končne orientacije in navedli primere razlik med tremi tujimi avtorji. Dotično besedilo daje splošen pregled osnovne MR preiskave srca. Smiselna nadgradnja bi se lahko lotila bolj natančne obravnave nastavitve osnovnih in dodatnih ravnin slikanja pri MR preiskavi srca. Druga možnost bi bila raziskava optimizacije ekstrinzičnih parametrov slikanja za odgovor na pogosta klinična vprašanja. Poleg poglobitve v že odprte tematike bi se lahko lotili tudi opisa sosednjih metod slikanja miokardne perfuzije s kontrastnim sredstvom, difuzijskega tenzorskega slikanja srca in velikih žil ali uporabe T1 in T2 mapiranja pri srcu.

LITERATURA

Axel L, Lim R (2008). Clinical cardiac MRI techniques. In: Kwong RY, ed. (2008). Cardiovascular magnetic resonance imaging. New Jersey: Humana press, 33–77.

Bluemke DA, Halperin HR, Nazarian S (2008). Safety and monitoring for cardiac magnetic resonance imaging. In: Kwong RY, ed. (2008). Cardiovascular magnetic resonance imaging. New Jersey: Humana press, 255–68.

Bogaert J, Taylor MA (2012). Cardiovascular MR imaging planes and segmentation. In: Bogaert J, Dymarkowski S, Taylor MA, Muthurangu V, eds. Clinical cardiac MRI. 2nd ed. Heidelberg: Springer, 93–107.

Bushberg J, Seibert A, Leidholdt E, Boone J (2012). The essential physics of medical imaging. Philadelphia: LWW, 373–469.

Didier D, Ratib O (2003). Dynamic cardiovascular MRI: principles and practical examples. 1st ed. New York: Thieme Medical Publishers Inc. 123–56.

Graves MJ (2006). The parallel universe: parallel imaging and novel acquisition techniques. In: Graves MJ, McRobbie DW, Moore EA, Prince MR (2006). MRI from Picture to Proton. 2nd ed. London: Cambridge university press. 346–73.

Dostopno na : <https://ucrfisicamedica.files.wordpress.com/2010/10/mri.pdf> <21.1.2018>.

Hargreaves B (2012). Rapid gradient-echo imaging. J Mag Reson Imaging 36(6):1300–13. doi: <https://doi.org/10.1002/jmri.23742> Dostopno na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jmri.23742> <5.5.2018>.

Kastler B (2011). MRI of cardiovascular malformations. 1–25. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-30702-0>

Dostopno na: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-540-30702-0#toc> <15.10.2017>.

Lamb HJ, Paelnick BP (2008). Assessment of Diastolic function by cardiac MRI. In: Kwong RY, ed. (2008). Cardiovascular magnetic resonance imaging. New Jersey: Humana press, 415–28.

Madore B (2008). Fast-imaging techniques. In: Kwong RY, ed. (2008). Cardiovascular magnetic resonance imaging. New Jersey: Humana press, 211–36.

Markl M (2008). Techniques in the assessment of cardiovascular blood flow and velocity. In: Kwong RY, ed. (2008). Cardiovascular magnetic resonance imaging. New Jersey: Humana press, 195–210.

McRobbie DW (2006). A heart to heart discussion: cardiac MRI. In: Graves MJ, McRobbie DW, Moore EA, Prince MR (2006). MRI from Picture to Proton. 2nd ed. London: Cambridge university press. 282–305. Dostopno na : <https://ucrfisicamedica.files.wordpress.com/2010/10/mri.pdf> <21.1.2018>

Podobnik J (2016). Slikanje z magnetno resonanco: nastavitvev pacienta in ravnin ter parametri slikanja. Ljubljana: Zdravstvena fakulteta, 75–80.

Siemens (2018). SCMR recommended cardiac MRI protocols: User's guide MAGNETOM Aera/MAGNETOM skyra. Nemčija: Siemens
Dostopno na: http://mriquestions.com/uploads/3/4/5/7/34572113/scmr_protocols_d11d_non-dot_final-00840274.pdf <25.5.2018>. V besedilu navajamo kot (Stuart et al., 2018).

Us R, Jereb M (2018). Magnetna resonanca srca: priprava in namestitvev pacienta, izbira pulznih zaporedij, parametri slikanja in nastavitvev ravnin. Diplomsko delo. Ljubljana: Zdravstvena fakulteta
Dostopno na: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103362&lang=slv> <25.12.2018>. V besedilu navajamo kot (Us, Jereb, 2018)

Von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Schulz-Menger, J (2016). Role of cardiovascular magnetic resonance in the guidelines of the European Society of Cardiology. J Cardiovasc Magn R. 18(6). doi: <https://doi.org/10.1186/s12968-016-0225-6>. ISSN 1532-429.

Dostopno na: <https://jcmr-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12968-016-0225-6> <17.10.2017>.

Westbrook C, Roth CK, Talbot J (2011). MRI in practice. 4th ed. Oxford: Blackwell Publishing, 263–300.