

# STRÅLANDE DIAGNOSTIK UTAN STRÅLNING

Magnetisk resonanstomografi är en synnerligen användbar metod vid hjärtdiagnostik – dessutom noninvasiv och fri från joniserande strålning.



**MARCUS CARLSSON**, med dr, specialistläkare i klinisk fysiologi  
marcus.carlsson@med.lu.se  
**HÅKAN ARHEDEN**, professor i klinisk fysiologi, överläkare  
hakan.arheden@med.lu.se

båda Bild- och funktionsdiagnostiskt centrum, Universitetssjukhuset i Lund

Den snabba utvecklingen av magnetisk resonanstomografi (MR) har gjort att MR-tekniken i dag kan användas för att diagnostisera en lång rad hjärtsjukdomar. MR-kameran kan avbilda hjärtats funktion och morfologi, mäta blodflödet genom klaffar och kärl samt avbilda och kvantifiera infarkt och inflammation i hjärtmuskulaturen. (För beskrivning av MR-fysiken se Fakta sidan 3036.)

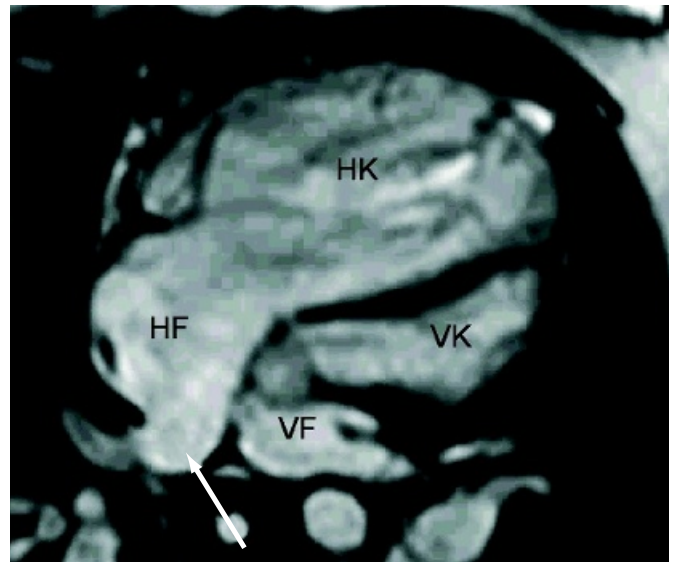
Det finns en mängd publikationer som beskriver MR-tekniken vid olika sjukdomar, men nu behövs kontrollerade studier som utvärderar den kliniska nyttan av tekniken vid olika sjukdomstillstånd.

Vid MR används inte joniserande strålning, vilket gör att MR lämpar sig särskilt väl vid kontroll av barn och vuxna med kongenital hjärtsjukdom. Dessa patienter genomgår flera undersökningar genom livet, och den samlade stråldosen bör hållas så låg som möjligt.

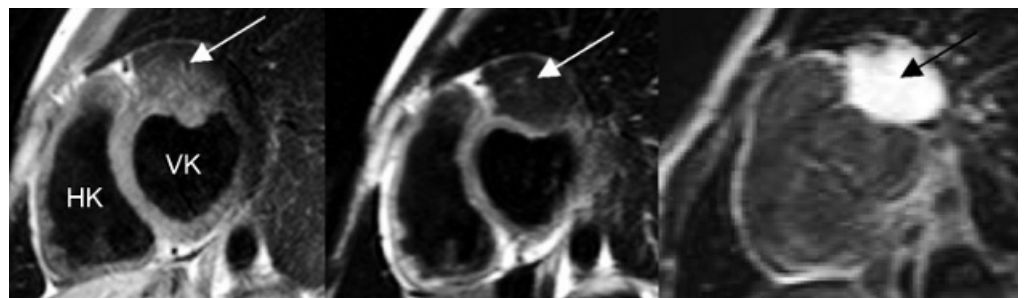
Denna artikel ger en översikt av de olika möjligheter som MR-kameran ger vid diagnostik av olika former av hjärtsjukdom.

## Morfologi

MR-kamerans möjlighet att ge vävnadskarakterisering och detaljerad anatomisk information har gjort att tekniken använts sedan 1980-talet för visualisering av de intratorakala kärlen och för att kartlägga anatomin vid kongenitala hjärtfel. Dessutom kan MR användas för att utreda avvikande fynd som påvi-



**Figur 1.** Undersökning med MR hos en 31-årig man med hjärtsvikt där ekokardiografi visat pulmonell hypertension och vidgad högerkammare. Pilen indikerar en s k anomalt mynnande lungven i höger förmak. Vänster- till högershunken är stor, flödet i truncus pulmonalis är 3,5 gånger större än i aorta. Högerkammaren är kraftigt förstora, 610 ml i slutet av diastole (normalt max 190 ml). (VK = vänster kammare; VF = vänster förmak; HK = höger kammare; HF = höger förmak.)



**Figur 2.** Ett exempel på en hjärttumör basalt anterior i vänster kammare (vit pil). Beroende på hur MR-kamerans parametrar väljs får tumören och myokardiet olika signal. Denna information kan användas för att karakterisera tumören och ge en indikation om vilken sorts tumör det är. Lägg märke

ke till att även blodet ändrar färg; svart i de två vänstra bilderna och grått i bilden till höger. MR-fyndet var förenliga med fibrom, och diagnosen bekräftades med biopsi. (VK = vänster kammare; HK = höger kammare.)

sats vid ekokardiografi (Figur 1) eller datortomografi, exempelvis kardiella tumörer (Figur 2) och tromber. Morfologisk kart-

## SAMMANFATTAT

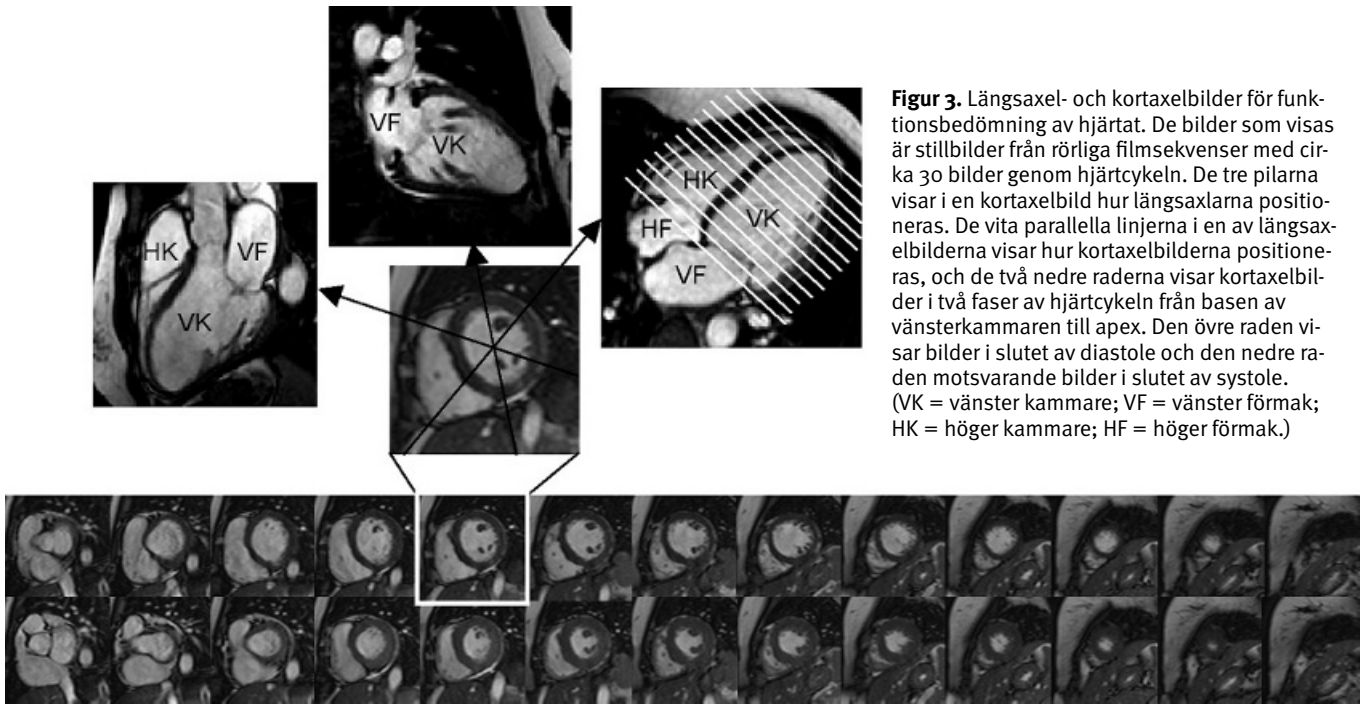
**Magnetisk resonanstomografi (MR)** kan avbilda hjärtats morfologi och funktion samt mäta flödet i de stora kärlen icke-invasivt och utan joniserande strålning.

**Därför har MR** sedan 1980-talet varit speciellt användbart vid medfödda hjärtfel och hjärttumörer.

**De senaste årens** tekniska ut-

veckling har gjort hjärt-MR till ett kliniskt verktyg vid en rad andra hjärtsjukdomar; t ex kan en hjärtinfarkt lokaliseras och storleksbestämmas med MR.

**MR kan dessutom** användas vid diagnostik av kardiomyopati, myokardit och stressutlöst ischemi.



**Figur 3.** Längsaxel- och kortaxelbilder för funktionsbedömning av hjärtat. De bilder som visas är stillbilder från rörliga filmsekvenser med cirka 30 bilder genom hjärtcykeln. De tre pilarna visar i en kortaxelbild hur längsaxlarna positioneras. De vita parallella linjerna i en av längsaxelbilderna visar hur kortaxelbilderna positioneras, och de två nedre raderna visar kortaxelbilder i två faser av hjärtcykeln från basen av vänsterkammaren till apex. Den övre raden visar bilder i slutet av diastole och den nedre raden motsvarande bilder i slutet av systole. (VK = vänster kammare; VF = vänster förmak; HK = höger kammare; HF = höger förmak.)

läggning av kranskärlsanomalier kan göras, men MR har ännu inte tillräcklig upplösning för att säkert diagnostisera kranskärlstenoser.

Gränsen mellan funktionell och morfologisk diagnostik är inte skarp; vid utredning av tumörer och kongenitala hjärtfel används i dag också rörliga funktionsbilder och kontrastförstärkt MR-angiografi.

### Funktion

Vid funktionsbedömning tas rörliga bilder av hjärtats kontraktion och fyllnad under hjärtcykeln; ofta tas 30 bilder per hjärtcykel. Dessutom kan MR-bilder tas i valfritt plan i kroppen, och hjärtat brukar avbildas i vänsterkammarens tre olika längsaxelplan samt kortaxelplan (Figur 3) [1]. I längsaxelbilderna kan klaffplansrörelsen och klaffarna bedömas. Kortaxelbilder tas parallellt mot varandra och täcker hela den tredimensionella volymen av hjärtat. Från kortaxelbilderna kan de olika hjärtrummens volymer beräknas (Figur 3).

MR ger bilder med hög spatiell upplösning och god kontrast mellan myokard och omgivning i alla fyra hjärtrummen. Detta

gör att MR ofta används som referensmetod för kvantitativ bestämning av hjärtvolym, myokardmassa och ejektionsfraktion [2, 3]. Kammarens väggförtjockning används för att bestämma den regionala hjärtfunktionen.

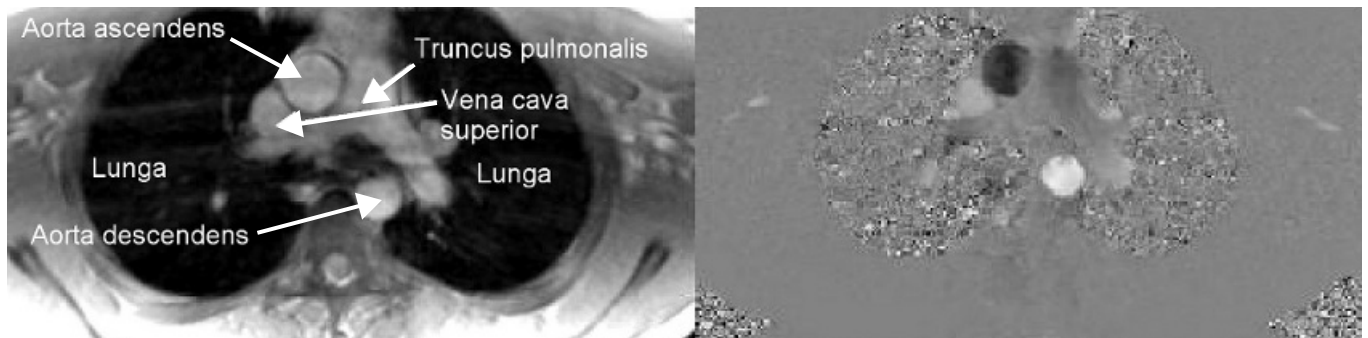
### Flöde

MR kan mäta flödet i stora kärl med hög noggrannhet, mättelet är enstaka procent [4, 5]. Därför kan MR användas för att mäta hjärtminutvolymen i aorta (Figur 4) och truncus pulmonalis, beräkna vänster- till högershunt som kvoten mellan lung- och systemblodflöde (QP/QS) [6] samt kvantifiera klaffinsufficienser [7].

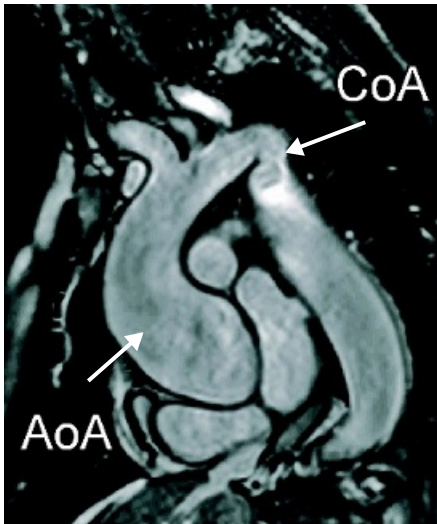
Till skillnad från ekokardiografi mäts flödet i ett tvärsnitt av kärlet som är vinkelrätt mot kärlets flödesriktning. Flödes hastigheten beräknas för hela kärllarean och för hela hjärtcykeln, vilket innebär att volymflödet bestäms med hög precision. För bestämning av den maximala flödes hastigheten över en stenosis är dock ekokardiografi en bättre metod.

Klaffinsufficienser kan kvantifieras genom att beräkna framåtflödet i systole och bakåtflödet i diastole. På så sätt kan den

**Figur 4.** Flödesmätning av aorta ascendens för bestämning av hjärtminutvolymen. Den vänstra bilden visar anatomin och används för att utlinjera kärlet. Gråskalan i den högra bilden är direkt proportionell mot flödes hastigheten, och genom att mäta denna och multiplicera med kärllarean kan blodflödet kvantifieras. Genom att hjärtfre-



kvensen är känd kan hjärtminutvolymen kvantifieras. Svart respektive vit färgintensitet i gråskalan innebär flöde i riktning från respektive mot bildplanet, därför är aorta ascendens svart och aorta descendens vit.



**Figur 5.** MR-undersökning hos 52-årig man med nydebuterade hjärtsviktssymtom. Ekokardiografi visade på dilaterad vänsterkammare samt bikuspid aortaklaff med aortainsufficiens av svårbedömd storlek och betydelse, dessutom fanns en ventrikelseptumdefekt av svårvärderad storlek. MR visar dessutom aorta ascendens-aneurysm (AoA) samt coarctatio aortae (CoA). Aortainsufficiensen kvantifierades till 61 procent av framåtlödet, vänster- till högershunken genom septumdefekten var liten, QP/QS (flödet i

pulmonalis genom flödet i aorta) beräknades till 1,3. Flödesmätning med MR vid koarktationen och vid diafragma visade att koarktationen inte hade orsakat något kollateralflöde och att hastigheten vid koarktationen var endast lätt förhöjd, drygt 2 m/s. Vänsterkammaren var kraftigt förstörd, slutdiastolisk volym 470 ml (normalt max 190 ml), men ejektionsfraktionen var bevarad, 57 procent. Detta illustrerar hur anatomisk och funktionell diagnostik kombineras vid en MR-undersökning.

volym blod som läcker bakåt beräknas i absolut volym och som den procentandel av slagvolymen som läcker bakåt genom klaffen (Figur 5).

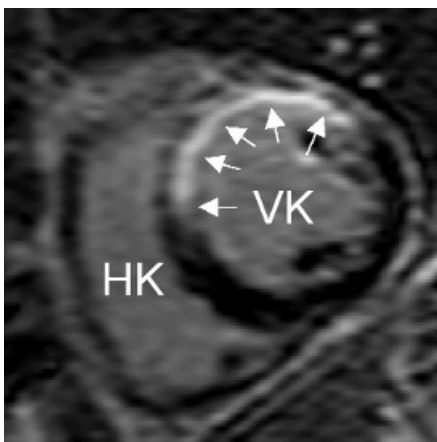
**Infarkt- och viabilitetsdiagnostik**

Hjärtinfarkt kan visualiseras efter injektion av MR-kontrastmedel både i akut fas och efter läkning med bindvävsärr. Bilderna tas 10–20 minuter efter kontrastinjektionen, och infarkten framträder vit, den »lyser upp«, medan levande myokard blir svart [8-10] (Figur 6).

Signalintensiteten i denna sorts MR-bilder blir högre ju mer kontrastmedel som finns i vävnaden. Kontrastmedlet består av komplexbundet gadolinium, som fördelar sig extracellulärt i kroppen. Infarktombåden har högre procentandel extracellulärrum än levande myokard [11, 12]. Detta gör att infarktombåden får högre andel kontrast och därigenom högre signal.

Metoden har validerats i djurmodell, och både infarktstorlek och utbredning visar en slående likhet med histologin [8, 9]. Överensstämmelsen i djurstudierna är så bra att MR har blivit den nya referensmetoden för storleksbestämning och lokalisation av hjärtinfarkt, i både akut och kroniskt skede. I en studie på patienter med kliniskt genomgången hjärtinfarkt påvisade MR infarkt hos 94 procent [13]. Dessutom angav MR i 97 procent korrekt lokalisation av infarkten jämfört med akut koronarangiografi. I kontrollgruppen med 11 friska frivilliga och 20 patienter med icke-ischemisk kardiomyopati sågs ingen infarkt.

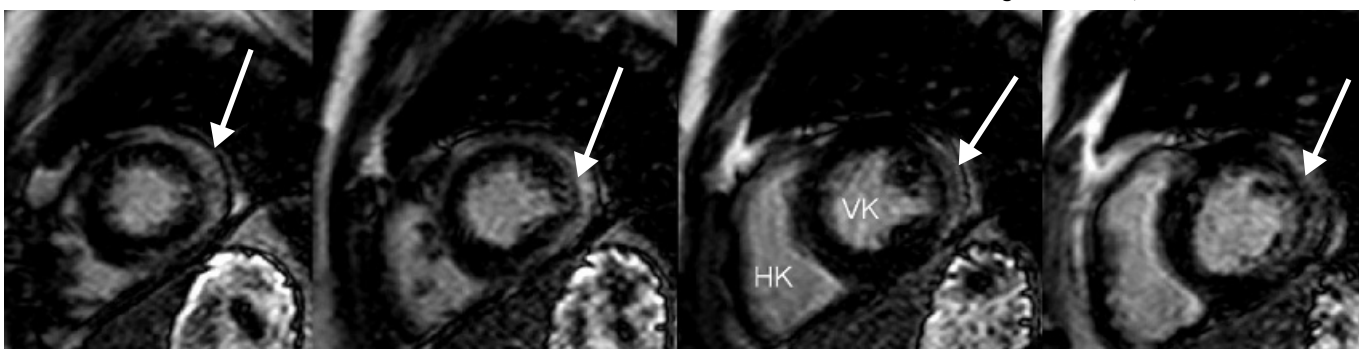
Sammanfattningsvis är både specificitet och sensitivitet för



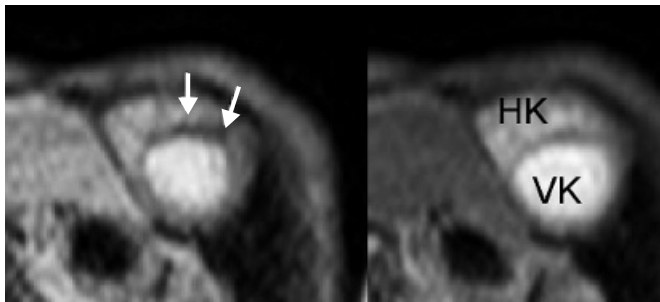
**Figur 6.** MR-undersökning hos patient med anteroseptal infarkt som är nära transmural inom det främre nedåstigande kranskärllets utbredningsområde. Infarkten avbildas som vit vävnad med kontrastförstärkt MR (vita pilar). (VK = vänster kammare; HK = höger kammare.)

**Figur 7.** »Delayed enhancement«-MR i fyra kortaxelsnitt på olika kammarnivåer hos en 35-årig man som inkom med akuta bröstsmärtor, EKG-förändringar med ST-höjning och CK-MB 85 µg/l. Koronarangiografi och ekokardiografi var normala, men patienten hade fortsatta bröstsmärtor och EKG-för-

ändringar. MR som utfördes för att utreda om ischemisk infarkt ändå förelåg visar epikardiell kontrastuppladdning (pilar), vilket stämmer med myokardit men inte med ischemisk infarkt, som har en endokardiell utbredning. (VK = vänster kammare; HK = höger kammare.)







**Figur 8.** Perfusionsundersökning av hjärtat med hjälp av MR-kontrast. Pilarna visar på perfusionsdefekt som tillkommer vid adenosininfusion (vänster) men som ej ses i vila (höger), vilket tyder på provocerbar ischemi anteroseptalt. (VK = vänster kammare; HK = höger kammare.)

att påvisa eller utesluta hjärtinfarkt i både akut och kroniskt skede således mycket hög (nära 100 procent) för MR.

En infarkt har samma MR-utseende i både akut och senare skede. För att särskilja dem kan man använda en MR-teknik som avbildar ödem; den akuta infarkten uppvisar ödem som försvinner efter någon månad [14-16].

Indikationerna för infarktbestämning med MR är fortfarande under utvärdering. Det finns visst vetenskapligt underlag för att infarktbestämning med MR kan användas för att avgöra om patienter med hjärtsvikt kommer att förbättra sin pumpfunktion efter revaskularisering med CABG (kirurgisk behandling) eller PCI (kateterburen intervention) [17]. För ett område med helt transmural infarkt görs inga stora vinster med revaskularisering, däremot bör ett område med nedsatt funktion och levande myokard, s k hibernerande myokard, revaskulariseras om möjligt [18-24].

### Icke-ischemisk hjärtsjukdom

MR kan användas för att särskilja olika kardiomyopatier och skilja mellan ischemisk och icke-ischemisk orsak till nedsatt pumpfunktion [25]. Samma teknik som vid infarktavbildning används vid diagnostik och utredning av t ex hypertrof kardiomyopati, dilaterad kardiomyopati, hjärtsarkoidos och myokardit (Figur 7). Ökad mängd gadoliniumkontrast ses även vid extracellulär inlagring och bindvävsomvandling orsakad av dessa tillstånd.

Utbredningen av MR-fynden används för att avgöra genesen. En ischemiskt betingad infarkt har en subendokardiell utbredning och följer kärlanatomien, och fibros av annan genes återfinns ofta epikardiellt och kan ha fläckvis lokalisering [25-27]. Ventrikulära arytmier kan orsakas av arytmogen högerkammarmarkardomyopati, och då spelar MR en viktig roll i diagnostiken. Fettinlagring och/eller ärrvävnad kan ses i framför allt höger kammare men ibland även i vänster kammare.

Förutom vävnadskaraktistik bedöms också funktionen regionalt i båda kamrarna. Vid hjärtamyloidos ses en hypertrof kammare med trög tömning och fyllnad, kontrastuppladdning är mer svårbedömd än vid andra kardiomyopatier och kan till och med saknas.

Myokardit är en svår diagnos där biokemiska markörer såväl som endomyokardiell biopsi kliniskt har relativt låg sensitivi-

### FAKTA. MR-fysik

**MR-kameran** bygger på komplicerad fysik. Ordet magnetresonans antyder den grundläggande principen att protoner (vätekärnor) kan ta upp radiofrekvent energi i ett yttre magnetfält. Frekvensen på denna energi (resonansfrekvensen) står i direkt proportion till magnetfältets styrka. MR-kameran använder därför en kombination av ett starkt yttre magnetfält samt en sändare och mottagare av radiovågor.

**Radiofrekvent energi** deponeras i vätekärnor i kroppen (excitation), och vätekärnornas magnetiska egenskaper ändras därvid så att ett mätbart internt magnetfält kan erhållas från den stora mängden vätekärnor i t ex mjukvävnad. Det interna magnetfältet, som också roterar med resonansfrekvensen, kan registreras av mottagarantennerna placerade på kroppen.

**Många faktorer** avgör hastigheten varmed det interna magnetfältet förändras och den mätbara signalen avkling-

ar efter excitation, och denna hastighet kan beskrivas av två tidskonstanter (relaxationstider), T1 och T2. MR-kontrastmedel kan användas för att påverka relaxationstiderna.

**Det faktum** att olika vävnader har olika relaxationsegenskaper ger möjlighet till att avbildas och särskiljas i olika delar. Genom att variera MR-kamerans parametrar, t ex den utsända energins styrka och frekvens, tiden mellan olika radiopulser m m, kan olika egenskaper i vävnader avbildas. Detta gör t ex att en vävnad kan avbildas svart i en bild och vit i en annan.

**Den insamlade** signalen bearbetas av en dator med omfattande signalbehandling för att ge en bild som kan användas för medicinsk tolkning.

**För den kliniker** som är intresserad av att läsa mer om hjärt-MR och MR-fysik rekommenderas t ex »CT and MRI of the cardiovascular system« av Higgins och de Roos och »Clinical cardiac MRI« av Bogaert och Dymarkowski.

tet [28-30]. Ekokardiografi kan ge diagnos, men eftersom perikardvätska och nedsatt funktion inte behöver finnas vid myokardit kan ekokardiografi vara falskt negativ. MR är ett relativt nytt diagnostiskt verktyg vid misstänkt myokardit. Studier där endomyokardiell biopsi utförts mot det område i hjärtat där MR funnit patologiska fynd har visat god samstämmighet mellan biopsin och MR [31].

### Ischemidiagnostik

Diagnostik av stressutlöst ischemi med MR kan göras med hjälp av dobutamin eller adenosin. Dobutamin-MR använder precis som stressekardiografi ökande dobutamininfusion för att öka myokardiets inotropi och kronotropi. Om funktionen inte ökar med ökad farmakologisk belastning, tyder detta på ischemi. Vid adenosin-MR studeras myokardperfusion genom en injektion av gadoliniumkontrast där förstapassagen genom myokardiet avbildas. Detta utförs under farmakologisk vidgning av kärlen med adenosin och jämföras med en undersökning utan adenosin (»vila«) (Figur 8). Teknikerna används ännu inte rutinmässigt i Sverige. Till viss del beror detta på att till skillnad från myokardskintigrafi och stressekardiografi föreligger det ännu inte några stora randomiserade studier som klarlägger nyttan av undersökningen.

### Sammanfattning

MR-kameran ger således nya möjligheter till diagnostik av en rad hjärtsjukdomar. Tekniken är i dag en etablerad del av utredningen vid kongenitala hjärtfel hos barn och vuxna samt vid hjärttumör. Ett flertal artiklar har de senaste åren beskrivit nya möjligheter till diagnostik av infarkt och ischemisk hjärtsjuk-

»... nya möjligheter till diagnostik av infarkt och ischemisk hjärtsjukdom, myokardit samt kardiomyopatier.«

dom, myokardit samt kardiomyopater. Den kliniska nyttan av tekniken vid dessa tillstånd behöver utvärderas på större patientmaterial i framtida multicenterstudier. Biokemisk utvärdering av hjärtat med MR-spektroskopi vid kliniska frågeställningar kommer sannolikt att bli möjligt i framtiden.

■ *Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.*

## REFERENSER

- Bellenger NG, Davies LC, Francis JM, Coats AJ, Pennell DJ. Reduction in sample size for studies of remodeling in heart failure by the use of cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2000;2:271-8.
- Persson E, Carlsson M, Palmer J, Pahlm O, Arheden H. Evaluation of left ventricular volumes and ejection fraction by automated gated myocardial SPECT versus cardiovascular magnetic resonance. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2005;25:135-41.
- Van Rossum AC, Sprenger M, Visser FC, Peels KH, Valk J, Roos JP. An in vivo validation of quantitative blood flow imaging in arteries and veins using magnetic resonance phase-shift techniques. *Eur Heart J.* 1991;12:117-26.
- Carlsson M, Cain P, Holmqvist C, Ståhlberg F, Lundbäck S, Arheden H. Total heart volume variation throughout the cardiac cycle in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2004;287:H243-50.
- Arheden H, Holmqvist C, Thilén U, Hanséus K, Björkhem G, Pahlm O, et al. Left-to-right cardiac shunts: comparison of measurements obtained with MR velocity mapping and with radionuclide angiography. *Radiology.* 1999;211:453-8.
- Higgins CB, Wagner S, Kondo C, Suzuki J, Caputo GR. Evaluation of valvular heart disease with cine gradient echo magnetic resonance imaging. *Circulation.* 1991;84:1198-207.
- Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, Harris K, Chen EL, Simonetti O, et al. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. *Circulation.* 1999;100:1992-2002.
- Arheden H, Saeed M, Higgins CB, Gao DW, Ursell PC, Bremerich J, et al. Reperfused rat myocardium subjected to various durations of ischemia: estimation of the distribution volume of contrast material with echo-planar MR imaging. *Radiology.* 2000;215:520-8.
- Arheden H, Saeed M, Higgins CB, Gao DW, Bremerich J, Wyttenbach R, et al. Measurement of the distribution volume of gadopentetate dimeglumine at echo-planar MR imaging to quantify myocardial infarction: comparison with <sup>99m</sup>Tc-DTPA autoradiography in rats. *Radiology.* 1999;211:698-708.
- Wu E, Judd RM, Vargas JD, Klocke FJ, Bonow RO, Kim RJ. Visualization of presence, location, and transmural extent of healed Q-wave and non-Q-wave myocardial infarction. *Lancet.* 2001;357:21-8.
- Abdel-Aty H, Zagrosek A, Schulz-Menger J, Taylor AJ, Messroghli D, Kumar A, et al. Delayed enhancement and T2-weighted cardiovascular magnetic resonance imaging differentiate acute from chronic myocardial infarction. *Circulation.* 2004;109:2411-6.
- Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med.* 2000;343:1445-53.
- Pagano D, Fath-Ordoubadi F, Beatt KJ, Townend JN, Bonser RS, Camici PG. Effects of coronary revascularisation on myocardial blood flow and coronary vasodilator reserve in hibernating myocardium. *Heart.* 2001;85:208-12.
- Fath-Ordoubadi F, Pagano D, Marinho NV, Keogh BE, Bonser RS, Camici PG. Coronary revascularization in the treatment of moderate and severe postischemic left ventricular dysfunction. *Am J Cardiol.* 1998;82:26-31.
- Bax JJ, Visser FC, Poldermans D, Elhendy A, Cornel JH, Boersma E, et al. Time course of functional recovery of stunned and hibernating segments after surgical revascularization. *Circulation.* 2001;104:1314-8.
- Pagano D, Bonser RS, Camici PG. Myocardial revascularization for the treatment of post-ischemic heart failure. *Curr Opin Cardiol.* 1999;14:506-9.
- Mahrholdt H, Wagner A, Judd RM, Sechtem U, Kim RJ. Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance assessment of non-ischaemic cardiomyopathies. *Eur Heart J.* 2005;26:1461-74.
- Skouri HN, Dec GW, Friedrich MG, Cooper LT. Noninvasive imaging in myocarditis. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:2085-93.
- Lauer B, Niederau C, Kuhl U, Schannwell M, Pauschinger M, Strauer BE, et al. Cardiac troponin T in patients with clinically suspected myocarditis. *J Am Coll Cardiol.* 1997;30:1354-9.
- Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A, Meinhardt G, Athanasiadis A, Vogelsberg H, et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. *Circulation.* 2004;109:1250-8.