

Cardiale Beeldvorming Middels CT en MRI; Stand van Zaken en Indicaties

In 2011 hebben de Nederlandse Vereniging voor Cardiologie (NVvC) en Nederlandse Vereniging voor Radiologie (NVvR) een eerste aanzet gemaakt om te komen tot een gemeenschappelijk document met betrekking tot de cardiale beeldvorming middels CT en MRI. Dit document dat door beide verenigingen in gezamenlijkheid werd vastgesteld, omschreef diverse technische aspecten binnen de cardiale beeldvorming alsmede indicaties. Het afgelopen jaar is gewerkt aan een nieuwe versie van dit kwaliteitsdocument. Het huidige document wordt qua structuur door beide verenigingen gezien als een eerste aanzet om in latere fase uit te bouwen tot een breder document waarin alle beeldvormende modaliteiten worden meegenomen om tot een evenwichtige afweging te komen van cardiale beeldvorming in de dagelijkse praktijkvoering.

Doel

Het huidige document gaat uit van ziektebeelden waarin cardiale beeldvorming nodig is. Naar analogie van internationale richtlijnen/appropriateness criteria gaat dit document uit van de initiële vraagstelling bij een bepaald ziektebeeld en de mogelijkheid die CT danwel MRI biedt en hoe deze zich met elkaar verhouden. De ziektebeelden die hierbij thans zijn uitgewerkt zijn achtereenvolgens:

1. Coronairlijden (verdenking dan wel bekend)
2. Myocardiale aandoeningen
3. Myocarditis, cardiale tumoren, pericardiale afwijkingen
4. Klepafwijkingen
5. Grote vaten

Nota bene: dit document doet **geen** uitspraak over de vraag **of** er een indicatie voor beeldvorming is, maar bespreekt de rol van CT en MRI **uitgaande van** de indicatie tot beeldvorming. Op basis van onderbeschreven criteria, is aangegeven welke van de modaliteiten CT of MRI de voorkeur zou hebben om een bepaalde klinische vraag of cardiale ziekte te evalueren.

In een volgende versie (2015/2016) willen we andere beeldvormende modaliteiten toevoegen zoals nucleaire technieken, echocardiografie en hartcatheterisatie. In dit traject zal ook de samenwerking worden gezocht met de Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde om in gezamenlijkheid de diverse nucleaire technieken op te nemen in dit document. Op deze wijze hopen NVvC en NVvR te komen tot een evenwichtige beoordeling van de diverse beeldvormende modaliteiten met een praktische indeling/handleiding voor de dagelijkse praktijkvoering.

Werkwijze/verantwoording

De Cardiovasculaire Sectie van de NVvR (Wildberger, Vliegthart) en de NVvC (Nieman, Dubois) vormden het afgelopen jaar een kerngroep (technisch voorzitterschap Dubois/Wildberger, inhoudelijk voorzitterschap Nieman/Vliegthart). Door de kerngroep werd een

gemeenschappelijke agenda bepaald voor het document met de verschillende ziektebeelden. Per ziektebeeld werd door de kerngroep een werkgroep vastgesteld met experts van beide wetenschappelijke verenigingen. Elke werkgroep werd gevraagd om een hoofdstuk aan te leveren met betrekking tot de beeldvorming middels CT en MRI met de daarbij behorende referenties. De resultaten werden besproken binnen de kerngroep en eventueel commentaar werd besproken met de werkgroep. De uiteindelijke versie werd aldus in gezamenlijkheid vastgesteld.

Voor de beoordeling van de mogelijkheden van CT en MRI werd gebruik gemaakt van een schaal A t/m E met als toelichting de volgende definities:

- A. Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methode (CT cq MRI)
- B. Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methode (CT cq MRI)
- C. Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D. Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E. Geen indicatie

Perspectief

Met dit document maken we als wetenschappelijke verenigingen een nieuwe stap om te komen tot een breed gedragen document met betrekking tot cardiale beeldvorming. Onze hoop is dat dit document de clinicus practicus kan ondersteunen bij het maken van een keuze aangaande de modaliteit die het best kan worden toegepast als beeldvorming geïndiceerd is bij een bepaald ziektebeeld. In de nabije toekomst zal dit ook helpen om te komen tot kwalitatieve, verstandige keuzes bij cardiale diagnostiek.

Redactie en auteurs

Dr. A.M. (Aernout) Beek, cardioloog, VU Medisch Centrum, Amsterdam
Dr. B. (Bas) Bekkers, cardioloog, Maastricht Universitair Medisch Centrum, Maastricht
Drs. H.C.M. (Harrie) van den Bosch, radioloog, Catharina Ziekenhuis, Eindhoven
Dr. R.P.J. (Ricardo) Budde, radioloog, Erasmus Medisch Centrum, Rotterdam
Dr. S.A.J. (Steven) Chamuleau, cardioloog, Universitair Medisch Centrum Utrecht, Utrecht
Drs. L. (Luc) Cozijnsen, cardioloog n.p., (voorheen:) Gelre Ziekenhuis, Apeldoorn
Dr. M. (Marco) Das, radioloog, Maastricht Universitair Medisch Centrum, Maastricht
Dr. P.R.M. (Paul) van Dijkman, cardioloog, Bronovo Ziekenhuis, Den Haag
Dr. E.A. (Eric) Dubois, cardioloog, Erasmus Medisch Centrum, Rotterdam
Dr. H.W. (Wouter) van Es, radioloog, St. Antonius Ziekenhuis, Nieuwegein
Dr. S.C. (Suzanne) Gerretsen, radioloog, Maastricht Universitair Medisch Centrum, Maastricht
Dr. M. (Maarten) Groenink, cardioloog, Academisch Medisch Centrum, Amsterdam
Dr. M.C.J.M. (Marc) Kock, radioloog, Albert Schweitzer Ziekenhuis, Dordrecht
Dr. M.J.M. (Marcel) Kofflard, cardioloog, Albert Schweitzer Ziekenhuis, Dordrecht
Dr. L.J.M. (Lucia) Kroft, radioloog, Leids Universitair Medisch Centrum, Leiden
Dr. Th.J.A. (Dirk-Jan) Kuipers, radioloog, Bronovo Ziekenhuis, Den Haag
Prof. Dr. H.J. (Hildo) Lamb, radioloog, Leids Universitair Medisch Centrum, Leiden
Prof. Dr. T. (Tim) Leiner, radioloog, Universitair Medisch Centrum Utrecht, Utrecht
Dr. W. B. (Bob) Meijboom, cardioloog, IJsselland Ziekenhuis, Capelle a/d IJssel
Dr. L.J. (Lilian) Meijboom, radioloog, VU Medisch Centrum, Amsterdam
Dr. K. (Koen) Nieman, cardioloog, Erasmus Medisch Centrum, Rotterdam
Dr. R. N. (Nils) Planken, radioloog, Academisch Medisch Centrum, Amsterdam
Dr. J.C. (Hans) Post, cardioloog, Catharina Ziekenhuis, Eindhoven
Dr. B. (Benno) Rensing, cardioloog, St. Antonius Ziekenhuis, Nieuwegein
Dr. H.J. (Hans-Marc) Siebelink, cardioloog, Leids Universitair Medisch Centrum, Leiden
Dr. M.M. (Miranda) Snoeren, radioloog, Universitair Medisch Centrum Nijmegen, Nijmegen
Dr. A.M. (Anje) Spijkerboer, radioloog, Academisch Medisch Centrum, Amsterdam
Dr. B.K. (Birgitta) Velthuis, radioloog, Universitair Medisch Centrum Utrecht, Utrecht
Dr. R. (Rozemarijn) Vliegenthart, radioloog, Universitair Medisch Centrum Groningen, Groningen
Dr. M.J. (Maureen) van der Vlucht, cardioloog, Universitair Medisch Centrum Nijmegen, Nijmegen
Prof. Dr. J. E. (Joachim) Wildberger, radioloog, Maastricht Universitair Medisch Centrum, Maastricht

Inhoud

1A	Verdenking coronairlijden	5
1B	Bekend coronairlijden	13
2	Myocardiale aandoeningen	18
3	Myocarditis, cardiale tumoren, pericardiale aandoeningen	25
4	Klepafwijkingen	32
5	Grote vaten	37

1A – Verdenking Coronairlijden

Paul van Dijkman, Eric Dubois, Lucia Kroft, Dirkjan Kuijpers, Koen Nieman

Asymptomatisch individuals

Niet-selectieve screening op coronairlijden van gezonde mensen zonder symptomen wordt bij gebrek aan een bewezen positief effect op uitkomst en de mogelijkheid van zelfs negatieve neveneffecten in het algemeen ontmoedigd. Op basis van een cardiale CT zonder contrast kan de coronaire kalkscore berekend worden. Populatiestudies wijzen uit dat de kalkscore gerelateerd is aan nadelige cardiale events met een toegevoegde prognostische waarde boven gebruikelijke risicofactoren¹⁻³, en dat een kalkscore CT patiënten met een intermediair risico kan herschikken naar een hogere of lagere risicocategorie.⁴⁻⁶ CT angiografie (CTA) heeft in laag- en intermediair risico patiënten vooralsnog geen toegevoegde waarde.^{7,8}

In asymptomatische diabeten is eveneens aangetoond dat de kalkscore aanvullende voorspellende waarde heeft.^{9,10} Ook CTA vindt in hoge-risico populaties een hogere prevalentie van obstructief coronairlijden¹¹⁻¹², die naar verwachting gerelateerd is aan een negatieve uitkomst. Het is echter nog niet duidelijk in welke mate deze prognostische informatie de behandeling of het klinisch beloop zal beïnvloeden.⁴ MRI heeft in een screening setting momenteel geen rol.

Ter uitsluiting van occult coronairlijden kan voorafgaand aan hartklepchirurgie in geselecteerde patiënten invasieve angiografie vervangen worden door CTA.¹³⁻¹⁶ Cardiale screening voorafgaand aan niet-cardiale chirurgie is omstreden bij patiënten zonder cardiale klachten. Op basis van expert opinion wordt een functionele test, zoals myocardperfusie MRI, aangeraden bij hoog risico chirurgie. De rol van CT is in deze context nog onvoldoende onderzocht, en zal bijvoorbeeld bij vaatchirurgische patiënten niet zelden gehinderd worden door coronaire calcificaties.

Ondanks dat cardiale MRI en CT in meer of mindere mate gehinderd worden door onregelmatige hartritmen, zijn beide technieken in staat coronairlijden uit te sluiten bij patiënten met ritmestoornissen.^{18,19}

Ook voor patiënten met onbegrepen hartfalen kan cardiale CT een rol hebben bij het uitsluiten van een niet onderkende coronaire component.^{12,20} MRI kan in deze context een bijdrage leveren voor de diagnostiek van zowel ischemische (reversibele ischemie en littekenweefsel) als niet-ischemische pathologie.

Asymptomatische individuen		MR	CT	
Risico stratificatie	Algemene populatie	D	D	4
	Laag risico	D	D	4
	Intermediair risico		B (kalk)	4-6
			D (CTA)	7,8
Hoog risico	C	D	4,8	
Occult CAD	Cardiale chirurgie	E	A	13-16
	Hartfalen, uitsluiten ischemie	A	B	12,20
	Niet-cardiale chirurgie	C	C	
	Ritmestoornissen, uitsluiten ischemie	B	B	18,19

- A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden
 B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden (* betekent praktische voorkeur)
 C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
 D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
 E Geen indicatie

Referenties

1. Arad Y, Spadaro LA, Roth M, et al. Treatment of asymptomatic adults with elevated coronary calcium scores with atorvastatin, vitamin C, and vitamin E: the St. Francis Heart Study randomized clinical trial. *J Am Coll Cardiol.* 2005;46:166–72.
2. Vliegenthart R, Oudkerk M, Hofman A, et al. Coronary calcification improves cardiovascular risk prediction in the elderly. *Circulation.* 2005;112:572–7.
3. Raggi P, Gongora MC, Gopal A, et al. Coronary artery calcium to predict all-cause mortality in elderly men and women. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52:17–23.
4. Greenland P, Alpert JS, Beller GA, et al. 2010 ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation.* 2010 Dec 21;122(25):e584-636.
5. Möhlenkamp S, Lehmann N, Moebus S, Schmermund A, Dragano N, Stang A, Siegrist J, Mann K, Jöckel KH, Erbel R; Heinz Nixdorf Recall Study Investigators. Quantification of coronary atherosclerosis and inflammation to predict coronary events and all-cause mortality. *J Am Coll Cardiol.* 2011 Mar 29;57(13):1455-64.
6. Polonsky TS, McClelland RL, Jorgensen NW, Bild DE, Burke GL, Guerci AD, Greenland P. Coronary artery calcium score and risk classification for coronary heart disease prediction. *JAMA.* 2010 Apr 28;303(16):1610-6.
7. Choi EK, Choi SI, Rivera JJ, et al. Coronary computed tomography angiography as a screening tool for the detection of occult coronary artery disease in asymptomatic individuals. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52:357–65.
8. Cho I, Chang HJ, Sung JM, et al. Coronary computed tomographic angiography and risk of all-cause mortality and nonfatal myocardial infarction in subjects without chest pain syndrome from the CONFIRM Registry. *Circulation.* 2012 Jul 17;126(3):304-13.
9. Anand DV, Lim E, Hopkins D, et al. Risk stratification in uncomplicated type 2 diabetes: prospective evaluation of the combined use of coronary artery calcium imaging and selective myocardial perfusion scintigraphy. *Eur Heart J.* 2006;27:713–21.
10. Elkeles RS, Godsland IF, Feher MD, et al. Coronary calcium measurement improves prediction of cardiovascular events in asymptomatic patients with type 2 diabetes: the PREDICT study. *Eur Heart J.* 2008;29:2244–51.
11. Scholte AJ, Schuijf JD, Kharagitsingh AV, et al. Prevalence of coronary artery disease and plaque morphology assessed by multi-slice computed tomography coronary angiography and calcium scoring in asymptomatic patients with type 2 diabetes. *Heart.* 2008;94:290–5.
12. Ten Kate GJ, Caliskan K, Dedic A, Meijboom WB, Neefjes LA, Manintveld OC, Krenning BJ, Ouhous M, Nieman K, Krestin GP, de Feyter PJ. Computed tomography coronary imaging as a gatekeeper for invasive coronary angiography in patients with newly diagnosed heart failure of unknown aetiology. *Eur J Heart Fail.* 2013 Sep;15(9):1028-34.

13. Gilard M, Cornily JC, Pennec PY, Joret C, Le Gal G, Mansourati J, Blanc JJ, Bosch J. Accuracy of multislice computed tomography in the preoperative assessment of coronary disease in patients with aortic valve stenosis. *J Am Coll Cardiol*. 2006 May 16;47(10):2020-4.
14. Reant P, Brunot S, Lafitte S, Serri K, Leroux L, Corneloup O, Iriart X, Coste P, Dos Santos P, Roudaut R, Laurent F. Predictive value of noninvasive coronary angiography with multidetector computed tomography to detect significant coronary stenosis before valve surgery. *Am J Cardiol*. 2006 May 15;97(10):1506-10.
15. Scheffel H, Stolzmann P, Plass A, Leschka S, Grünenfelder J, Falk V, Alkadhi H. Coronary artery disease in patients with cardiac tumors: preoperative assessment by computed tomography coronary angiography. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2010 Apr;10(4):513-8
16. Meijboom WB, Mollet NR, Van Mieghem CA, Kluijn J, Weustink AC, Pugliese F, Vourvouri E, Cademartiri F, Bogers AJ, Krestin GP, de Feyter PJ. Pre-operative computed tomography coronary angiography to detect significant coronary artery disease in patients referred for cardiac valve surgery. *J Am Coll Cardiol*. 2006 Oct 17;48(8):1658-65.
17. Verwijderd.
18. Marwan M, Pfloderer T, Schepis T, Lang A, Muschiol G, Ropers D, Daniel WG, Achenbach S. Accuracy of dual-source computed tomography to identify significant coronary artery disease in patients with atrial fibrillation: comparison with coronary angiography. *Eur Heart J*. 2010 Sep;31(18):2230-7.
19. Sun G, Li M, Jiang ZW, Xu L, Peng ZH, Ding J, Li L, Jin ZT. Diagnostic accuracy of dual-source CT coronary angiography in patients with atrial fibrillation: Meta-analysis. *Eur J Radiol*. 2013 Oct;82(10):1749-54.
20. Ghostine S, Caussin C, Habis M, Habib Y, Clément C, Sigal-Cinqualbre A, Angel CY, Lancelin B, Capderou A, Paul JF. Non-invasive diagnosis of ischaemic heart failure using 64-slice computed tomography. *Eur Heart J*. 2008 Sep;29(17):2133-40.
21. Ahn JH, Park JR, Min JH, Sohn JT, Hwang SJ, Park Y, Koh JS, Jeong YH, Kwak CH, Hwang JY. Risk stratification using computed tomography coronary angiography in patients undergoing intermediate-risk noncardiac surgery. *J Am Coll Cardiol*. 2013 Feb 12;61(6):661-8.

Verdenking Stabiele Angina Pectoris

Beeldvormende diagnostiek heeft bij patiënten met klachten die passen bij coronairlijden meerdere doelen. Het dient ter vaststelling of uitsluiting van coronairlijden, het bestaan van provokeerbare myocardiale ischemie in relatie tot de klachten, het bepalen van de prognose, het identificeren van patiënten met een hoog risico, en zij die zich technisch geschikt zijn voor en prognostisch baat hebben bij myocardiale revascularisatie. Zowel cardiale CT als MRI worden toegepast bij patiënten met angineuze klachten en verdenking op coronairlijden. Om tot de meest effectieve keuze te komen kan de voorafkans op coronairlijden worden berekend. De traditionele Diamond & Forrester criteria zijn recentelijk opnieuw gevalideerd en uitgebreid, en deze nieuwe score worden door de ESC aanbevolen.^{1,2}

De kalkscore en CTA worden in de context van stabiele pijn op de borst steeds meer gebruikt, en de mogelijkheden van stress myocardiale perfusie imaging met CT wordt op dit moment onderzocht. Gebruik van cardiale CT is het meest geaccepteerd als secundaire test, indien een inspanningstest geen duidelijkheid verschaft, niet uitvoerbaar is, of klachten na een negatieve fietstest blijven bestaan. CTA heeft een hoge NPV ten opzichte van invasieve angiografie³⁻⁵, waardoor coronairlijden betrouwbaar uitgesloten kan worden. De positief voorspellende waarde van CTA in vergelijking met invasieve angiografie, maar nog sterker in vergelijking tot fractional flow reserve (FFR), is relatief laag. Daarmee is de waarde van CTA het grootst in populaties met een laag tot intermediaire voorafkans op coronairlijden.^{2,6,7} Bij een lage voorafkans op CAD sluit een negatieve kalkscan relevant coronairlijden met voldoende zekerheid uit⁸⁻¹⁰, en kan verdere diagnostiek vermeden worden. Anekdotisch komt obstructief coronairlijden zonder kalk vaker voor bij jongere patiënten, en biedt de kalkscore in dit geval onvoldoende zekerheid. Een hoge kalkscore (Agatston-score boven 400-1000) maakt de kans klein dat coronairlijden met CTA uitgesloten kan worden.^{8,11,12} Bij

angiografisch coronairlijden op CT is myocardiale ischemie niet altijd aanwezig en dient aanvullend functioneel onderzoek aan te tonen of b.v. revascularisatie zinvol is. De toegevoegde waarde van CT na een hartcatheterisatie is beperkt tot het afbeelden van anomalieën, complex coronairlijden voorafgaand aan revascularisatie (b.v. chronische totale occlusies)¹³, en wanneer invasieve coronaire afbeelding gecontraïndiceerd is.

Er zijn meerdere MRI technieken om myocardiale ischemie aan te tonen. Myocardiale perfusie imaging na farmacologische hyperemie (adenosine/regadenoson) heeft praktische voordelen ten opzichte van stress MRI met dobutamine en wordt in Nederland om die reden vaker gebruikt. In afwezigheid van een voorgeschiedenis van myocardinfarct kan volstaan worden met een stress-only perfusie onderzoek.^{14,15} Bij een bekend myocard infarct is er keuze tussen: of een combinatie rust-stress MR perfusie met late-enhancement opnamen^{14,16,17}, of middels een dobutamine stress onderzoek [18-21]. Door toevoeging van tagging technieken en myocard perfusie bij dobutamine stress onderzoek is de diagnostische waarde ervan sterk verbeterd. Directe vergelijkingen met andere modaliteiten suggereren dat MR de meest accurate myocardiale perfusietechniek is voor de detectie van relevant coronairlijden.^{22,23} Directe afbeelding van de coronairen met MRI is technisch mogelijk, maar heeft slechts beperkte praktische toepassing. Cardiale stress MR is een veilige techniek^{18,24} en kan toegepast worden als primaire test, na een niet-conclusieve inspanningstest, of ter bepaling en lokalisatie van myocardiale ischemie en viabiliteit.

Random de primaire diagnostiek van coronairlijden hebben CT en MRI een deels complementaire rol. Coronaire CT angiografie is een snelle en relatief eenvoudige techniek om anatomisch coronairlijden, zowel obstructief als niet-obstructief, vast te stellen. Uitzonderingen daargelaten sluit afwezig anatomisch coronairlijden met CT ischemische hartziekte als verklarende oorzaak uit. De waarde van de CCS om CAD uit te sluiten wordt in de praktijk nog onderschat. De nauwkeurigheid van ischemiedetectie met MRI is hoog.

Verdenking stabiel coronairlijden		MR	CT
Primaire test	Lage voorafkans	B	14,20-23 B* 2-9
	Intermediaire voorafkans	B	14,20-23 B 2-7
	Hoge voorafkans	A	14,20-23 C 2-7
Na functionele test	Contra-indicatie of inconclusief	B	14,20-23 B* 2-9
	Lage voorafkans	B	14,20-23 A 2-7
	Intermediaire voorafkans	B	14,20-23 B 2
	Hoge voorafkans	C	14,20-23 C 2-7
Na cath angiografie	Contra-indicatie of inconclusief	E	14,20-23 A 2-7
	Geen >50% stenose	C	- E -
	Angiografisch coronairlijden	B	14,20-23 E -
	Totale occlusie (chronisch)	A	22 C 13

- A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden
- B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden (* betekent praktische voorkeur)
- C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E Geen indicatie

Referenties

1. Genders TS, Steyerberg EW, Alkadhi H, Leschka S, Desbiolles L, Nieman K, Galema TW, Meijboom WB, Mollet NR, de Feyter PJ, Cademartiri F, Maffei E, Dewey M, Zimmermann E, Laule M, Pugliese F, Barbagallo R, Sinitsyn V, Bogaert J, Goetschalckx K, Schoepf UJ, Rowe GW, Schuijf JD, Bax JJ, de Graaf FR, Knuuti J, Kajander S, van

- Mieghem CA, Meijs MF, Cramer MJ, Gopalan D, Feuchtner G, Friedrich G, Krestin GP, Hunink MG; CAD Consortium. A clinical prediction rule for the diagnosis of coronary artery disease: validation, updating, and extension. *Eur Heart J*. 2011 Jun;32(11):1316-30.
2. Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, Andreotti F, Arden C, Budaj A, Bugiardini R, Crea F, Cuisset T, Di Mario C, Ferreira JR, Gersh BJ, Gitt AK, Hulot JS, Marx N, Opie LH, Pfisterer M, Prescott E, Ruschitzka F, Sabaté M, Senior R, Taggart DP, van der Wall EE, Vrints CJ. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease. *Eur Heart J*. 2013;34:2949-3003.
 3. Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52:1724–32.
 4. Meijboom WB, Meijs MF, Schuijf JD, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52:2135–44.
 5. Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med*. 2008;359: 2324–36.
 6. Meijboom WB, van Mieghem CA, Mollet NR, et al. 64-slice computed tomography coronary angiography in patients with high, intermediate, or low pretest probability of significant coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:1469–1475
 7. Schuetz GM, Zacharopoulou NM, Schlattmann P, et al. Metaanalysis: noninvasive coronary angiography using computed tomography versus magnetic resonance imaging. *Ann Intern Med*. 2010; 152:167–77.
 8. Nieman K, Galema TW, Neefjes LA, Weustink AC, Musters P, Moelker AD, Mollet NR, de Visser R, Boersma E, de Feijter PJ. Comparison of the value of coronary calcium detection to computed tomographic angiography and exercise testing in patients with chest pain. *Am J Cardiol*. 2009 Dec 1;104(11):1499-504.
 9. Sarwar A, Shaw LJ, Shapiro MD, et al. Diagnostic and prognostic value of absence of coronary artery calcification. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2(6):675–688. [Published correction appears in *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3(10):1089. Hoffman, Udo Hoffmann, Udo.
 10. Villines TC, Hulten EA, Shaw LJ, et al. Prevalence and severity of coronary artery disease and adverse events among symptomatic patients with coronary artery calcification scores of zero undergoing coronary computed tomography angiography: results from the CONFIRM (Coronary CT Angiography Evaluation For Clinical Outcomes: An International Multicenter) registry. *J Am Coll Cardiol* 2011;58(24):2533–2540.
 11. Ahn SJ, Kang DK, Sun JS, Yoon MH. Accuracy and predictive value of coronary computed tomography angiography for the detection of obstructive coronary heart disease in patients with an agatston calcium score above 400. *J Comput Assist Tomogr*. 2013 May-Jun;37(3):387-94.
 12. Petcherski O, Gaspar T, Halon DA, Peled N, Jaffe R, Molnar R, Lewis BS, Rubinshtein R. Diagnostic accuracy of 256-row computed tomographic angiography for detection of obstructive coronary artery disease using invasive quantitative coronary angiography as reference standard. *Am J Cardiol*. 2013 Feb 15;111(4):510-5. doi: 10.1016/j.amjcard.2012.10.036. Epub 2012 Dec 1.
 13. García-García HM, van Mieghem CA, Gonzalo N, Meijboom WB, Weustink AC, Onuma Y, Mollet NR, Schultz CJ, Meliga E, van der Ent M, Sianos G, Goedhart D, den Boer A, de Feyter P, Serruys PW. Computed tomography in total coronary occlusions (CTTO registry): radiation exposure and predictors of successful percutaneous intervention. *EuroIntervention*. 2009 Mar;4(5):607-16.
 14. Schwitter J, Wacker CM, Wilke N, Al-Saadi N, Sauer E, Huettle K, Schönberg SO, Debl K, trohm O, Ahlstrom H, Dill T, Hoebel N, Simor T; MR-IMPACT investigators. Superior diagnostic performance of perfusion-cardiovascular magnetic resonance versus SPECT to detect coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012 Sep 2;14:61.
 15. Lubbers DD, Rijlaarsdam-Hermesen D, Kuijpers D, Kerkhof M, Sijens PE, van Dijkman PR, Oudkerk M. Performance of adenosine "stress-only" perfusion MRI in patients without a history of myocardial infarction: a clinical outcome study. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2012 Jan;28(1):109-15.
 16. Bernhardt P, Spiess J, Levenson B, Pilz G, Hombach V, Strohm O. Combined assessment of myocardial perfusion and late gadolinium enhancement in patients after percutaneous coronary intervention or bypass grafts: a multicenter study of an integrated cardiovascular magnetic resonance protocol. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2009 Nov;2(11):1292-300.
 17. Klein C, Gebker R, Kokocinski T, Dreyse S, Schnackenburg B, Fleck E, Nagel E. Combined magnetic resonance coronary artery imaging, myocardial perfusion and late gadolinium enhancement in patients with suspected coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008 Oct 17;10:45.

18. Wahl A, Paetsch I, Gollesch A, Roethemeyer S, Foell D, Gebker R, Langreck H, Klein C, Fleck E, Nagel E. Safety and feasibility of high-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular magnetic resonance for diagnosis of myocardial ischaemia: experience in 1000 consecutive cases. *Eur Heart J*. 2004 Jul;25(14):1230-6.
19. Kelle S, Nagel E, Voss A, Hofmann N, Gitsioudis G, Buss SJ, Chiribiri A, Wellnhofer E, Klein C, Schneeweis C, Egnell C, Vierecke J, Berger A, Giannitsis E, Fleck E, Katus HA, Korosoglou G. A bi-center cardiovascular magnetic resonance prognosis study focusing on dobutamine wall motion and late gadolinium enhancement in 3,138 consecutive patients. *J Am Coll Cardiol*. 2013 Jun 4;61(22):2310-2.
20. Jahnke C, Nagel E, Gebker R, Kokocinski T, Kelle S, Manka R, Fleck E, Paetsch I. Prognostic value of cardiac magnetic resonance stress tests: adenosine stress perfusion and dobutamine stress wall motion imaging. *Circulation*. 2007 Apr 3;115(13):1769-76.
21. Kuijpers D, Ho KY, van Dijkman PR, Vliegenthart R, Oudkerk M. Dobutamine cardiovascular magnetic resonance for the detection of myocardial ischemia with the use of myocardial tagging. *Circulation*. 2003 Apr 1;107(12):1592-7.
22. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols, society for cardiovascular magnetic resonance: board of trustees task force on standardized protocols. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008 Jul 7;10:35.
23. Greenwood JP, Maredia N, Younger JF, Brown JM, Nixon J, Everett CC, Bijsterveld P, Ridgway JP, Radjenovic A, Dickinson CJ, Ball SG, Plein S. 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.
24. Kuijpers D, van Dijkman PR, Janssen CH, Vliegenthart R, Zijlstra F, Oudkerk M. Dobutamine stress MRI. Part I and II. *Eur Radiol*. 2004 Oct;14(10):1823-8 and Nov;14(11):2046-52.

Verdenking Acut Coronair Syndroom

Het doel van cardiale diagnostiek en imaging rondom patiënten met verdenking op acute coronaire pathologie is tweeledig. In het acute stadium is het belangrijk het ACS uit te sluiten en patiënten te triëren naar risico. In het subacute stadium volgt de verdere diagnostiek naar de oorzaak van de klachten en de aanwezigheid van coronairlijden bij patiënten zonder myocardinfarct. Voor patiënten met een myocardinfarct kan imaging een rol hebben bij het vaststellen van complicaties en het bepalen van de verdere prognose.

CT is goed in staat obstructief coronairlijden uit te sluiten, en in afwezigheid van plaque op CT is een ACS buitengewoon zeldzaam.¹⁻⁵ Hoewel een ACS zeldzaam is in afwezigheid van detecteerbare kalk^{3,5,6}, wordt er vanwege de verder reikende consequenties meestal de voorkeur aan gegeven het onderzoek compleet met CT angiografie uit te voeren. Patiënten met een negatieve CT na bezoek aan de SEH hebben een goede prognose.⁷ In de triage van acute pijn op de borst heeft CT bewezen logistieke voordelen in de vorm van opnameduur, tenminste in lage-risico populaties.⁸⁻¹⁰ In hoeverre deze voordelen standhouden in patiënten met een hoger risico, en met de introductie van hoog-sensitieve troponines is op dit moment nog onduidelijk. CT kan bij een klinisch niet goed verklaarbare stijging van cardiale markers nuttig zijn om coronairlijden uit te sluiten, en een hartcatheterisatie voorkomen.¹¹ Momenteel zijn nog weinig centra in staat 24 uur per dag CT te bieden. Cardiale MR heeft in de praktijk geen rol bij de acute triage van acute pijn op de borst. Voor de verdere klinische/poliklinische diagnostiek van patiënten bij wie een myocardinfarct is uitgesloten komen zowel CT als MRI in aanmerking, waarbij grotendeels de zelfde overwegingen gelden als bij stabiele angina pectoris.

Bij een doorgemaakt infarct levert MR aanvullende prognostische informatie (ventrikelfunctie, infarctgrootte).¹²⁻¹⁴ CT is in staat vergelijkbare onderzoeken te verrichten^{15,16}, maar doorgaans van mindere kwaliteit, en nog niet uitgebreid onderzocht op prognostische waarde.¹⁷ In geval van contra-indicaties voor MRI kan CT als alternatief worden overwogen.

Hoewel CT in staat is CAD uit te sluiten bij verdenking op een ACS, is de exacte rol van dit instrument in het acute stadium, mede ten aanzien van de nieuwe hoog-sensitieve biomarkers, nog niet geheel duidelijk. CT en MRI zijn toepasbaar bij de subacute diagnostiek van patiënten met acute pijn op de borst.

Verdenking acuut coronair syndroom		MR		CT	
Triage ACS	Laag risico: normale ECG en biomarkers	B	12,13	B*	1-11
	Intermediair risico	B	12,13	B	1-11
	Onverklaarde positieve markers	C		B	11
	Evidente ST-elevatie myocardinfarct	E		E	
Recente, acute pijn op de borst	Uitsluiten coronairlijden, als stabiele angina pectoris	B		B	

- A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden
- B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden (* betekent praktische voorkeur)
- C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E Geen indicatie

Referenties

1. Rubinshtein R, Halon DA, Gaspar T, Schliamsner JE, Yaniv N, Ammar R, Flugelman MY, Peled N, Lewis BS. Usefulness of 64-slice multidetector computed tomography in diagnostic triage of patients with chest pain and negative or nondiagnostic exercise treadmill test result. *Am J Cardiol.* 2007 ;99:925-9.
2. Gallagher MJ, Ross MA, Raff GL, Goldstein JA, O'Neill WW, O'Neil B. The diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography compared with stress nuclear imaging in emergency department low-risk chest pain patients. *Ann Emerg Med.* 2007;49:125-36.
3. Hoffmann U, Bamberg F, Chae CU, Nichols JH, Rogers IS, Seneviratne SK, Truong QA, Cury RC, Abbara S, Shapiro MD, Moloo J, Butler J, Ferencik M, Lee H, Jang IK, Parry BA, Brown DF, Udelson JE, Achenbach S, Brady TJ, Nagurney JT. Coronary computed tomography angiography for early triage of patients with acute chest pain: the ROMICAT trial. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53:1642-50.
4. Hansen M, Ginns J, Seneviratne S, Slaughter R, Premaranthe M, Samardhi H, Harker J, Lai T, Walters DL, Bett N. The value of dual-source 64-slice CT coronary angiography in the assessment of patients presenting to an acute chest pain service. *Heart Lung Circ.* 2010;19:213-8.
5. Dedic A, Ten Kate GJ, Neefjes LA, Rossi A, Dharampala A, Rood PP, Galema TW, Schultz C, Ouhous M, Moelker A, de Feyter PJ, Nieman K. Coronary CT angiography outperforms calcium imaging in the triage of acute coronary syndrome. *Int J Cardiol.* 2013;167:1597-602.
6. Georgiou D, Budoff MJ, Kaufer E, Kennedy JM, Lu B, Brundage BH. Screening patients with chest pain in the emergency department using electron beam tomography: a follow-up study. *J Am Coll Cardiol.* 2001;38(1):105-10.
7. Hollander JE, Chang AM, Shofer FS, Collin MJ, Walsh KM, McCusker CM, Baxt WG, Litt HI. One-year outcomes following coronary computerized tomographic angiography for evaluation of emergency department patients with potential acute coronary syndrome. *Acad Emerg Med.* 2009 Aug;16(8):693-8.
8. Hoffmann U, Truong QA, Schoenfeld DA, Chou ET, Woodard PK, Nagurney JT, Pope JH, Hauser TH, White CS, Weiner SG, Kalanjian S, Mullins ME, Mikati I, Peacock WF, Zakrojsky P, Hayden D, Goehler A, Lee H, Gazelle GS, Wiviott SD, Fleg JL, Udelson JE; ROMICAT-II Investigators. Coronary CT angiography versus standard evaluation in acute chest pain. *N Engl J Med.* 2012;367:299-308.
9. Litt HI, Gatsonis C, Snyder B, Singh H, Miller CD, Entrikon DW, Leaming JM, Gavin LJ, Pacella CB, Hollander JE. CT angiography for safe discharge of patients with possible acute coronary syndromes. *N Engl J Med.* 2012;366:1393-1403.
10. Goldstein JA, Chinnaiyan KM, Abidov A, Achenbach S, Berman DS, Hayes SW, Hoffmann U, Lesser JR, Mikati IA, O'Neil BJ, Shaw LJ, Shen MY, Valeti US, Raff GL; CT-STAT Investigators. The CT-STAT (Coronary Computed

- Tomographic Angiography for Systematic Triage of Acute Chest Pain Patients to Treatment) trial. *J Am Coll Cardiol*. 2011;58:1414–1422.
11. Hamm CW, Bassand JP, Agewall S, Bax J, Boersma E, Bueno H, Caso P, Dudek D, Gielen S, Huber K, Ohman M, Petrie MC, Sonntag F, Uva MS, Storey RF, Wijns W, Zahger D. ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation.. *Eur Heart J*. 2011;32:2999-3054.
 12. Miller CD, Hwang W, Case D, Hoekstra JW, Lefebvre C, Blumstein H, Hamilton,CA, Harper EN, Hundley WG. Stress CMR imaging observation unit in the emergency department reduces 1-year medical care costs in patients with acute chest pain: a randomized study for comparison with inpatient care. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2011;4:862-70.
 13. Vogel-Claussen J, Skrok J, Dombroski D, Shea SM, Shapiro EP, Bohlman M, Lorenz CH, Lima JA, Bluemke DA. Comprehensive adenosine stress perfusion MRI defines the etiology of chest pain in the emergency room: Comparison with nuclear stress test. *J Magn Reson Imaging*. 2009 Oct;30(4):753-62.
 14. Korosoglou G, Elhmidi Y, Steen H, Schellberg D, Riedle N, Ahrens J, Lehrke S, Merten C, Lossnitzer D, Radeleff J, Zugck C, Giannitsis E, Katus HA. Prognostic value of high-dose dobutamine stress magnetic resonance imaging in 1,493 consecutive patients: assessment of myocardial wall motion and perfusion. *J Am Coll Cardiol*. 2010 Oct 5;56(15):1225-34.
 15. Lardo AC, Cordeiro MA, Silva C, Amado LC, George RT, Saliaris AP, Schuleri KH, Fernandes VR, Zviman M, Nazarian S, Halperin HR, Wu KC, Hare JM, Lima JA. Contrast-enhanced multidetector computed tomography viability imaging after myocardial infarction: characterization of myocyte death, microvascular obstruction, and chronic scar. *Circulation*. 2006 Jan 24;113(3):394-404.
 16. Gerber BL, Belge B, Legros GJ, Lim P, Poncelet A, Pasquet A, Gisellu G, Coche E, Vanoverschelde JL. Characterization of acute and chronic myocardial infarcts by multidetector computed tomography: comparison with contrast-enhanced magnetic resonance. *Circulation*. 2006 Feb 14;113(6):823-33. Epub 2006 Feb 6.
 17. Sarwar A, Shapiro MD, Nasir K, Nieman K, Nomura CH, Brady TJ, Cury RC. Evaluating global and regional left ventricular function in patients with reperfused acute myocardial infarction by 64-slice multidetector CT: a comparison to magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2009 May-Jun;3(3):170-7.

1B. Bekend coronairlijden

Aernout Beek, Marco Das, Bob Meijboom, Hans Post, Anje Spijkerboer, Rozemarijn Vliegenthart

Acuut myocardinfarct en doorgemaakt (chronisch) myocardinfarct

De behandeling van een acuut MI is afhankelijk van de lokatie, uitgebreidheid en prognose van het infarct. Bij een acute presentatie van een (non-) STEMI vindt zo spoedig mogelijk catheterisatie en PCI plaats, waar mogelijk. Na deze initiële interventie, danwel bij presentatie buiten de periode waarin directe PCI geïndiceerd is, kunnen er vragen zijn waarvoor niet-invasieve beeldvorming verricht wordt. B.v. hoe groot is het infarct? Is er rest-ischemie en rest-vitaliteit? Wat is de restfunctie van het LV? De antwoorden op deze vragen kunnen zowel impact hebben op de prognose als op de bepaling van de optimale therapie. Bij een recent doorgemaakt infarct is MRI de techniek van keuze om al deze aanvullende informatie in een enkel beeldvormend onderzoek te verkrijgen.^{1,2} CT is in staat vergelijkbare onderzoeken te verrichten,^{3,4} maar doorgaans van mindere kwaliteit, en is nog niet uitgebreid onderzocht op prognostische waarde. In geval van contra-indicaties voor MRI kan CT als alternatief worden overwogen.

Bij het vervolgen van patiënten met een myocardinfarct in het verleden kunnen zich meerdere diagnostische vraagstellingen voordoen:

(1) de prognose;⁵ deze hangt af van de resterende systolische linkerventrikelfunctie: kwantificering van de linkerventrikeldimensies en -ejectiefractie (LVEF) en hiermee samenhangend de infarctgrootte zijn van belang

(2) de kans dat bij ernstige linkerventrikel dysfunctie het dysfunctionele myocard na een revascularisatie functieherstel zal vertonen;⁵⁻⁸ deze hangt af van de vitaliteit van het dysfunctionele myocard: de mate van myocardvitaliteit, zowel uitgedrukt als het aantal segmenten dat nog vitaal is als de vitaliteit per segment c.q. de transmurale uitbreiding van de infarcering, is hierbij van belang.

Ook andere vraagstellingen zoals de aanwezigheid van stenosering van non-culprit coronaire arteriën, de aanwezigheid van myocardischemie en de aanwezigheid van klepdysfunctie kunnen zich bij deze patiëntengroep voordoen, doch qua beeldvorming aanpak verschillen deze vraagstellingen niet wezenlijk van die in andere situaties. De indicaties voor MRI en CT bij deze vraagstellingen vindt u in de betreffende paragrafen (primaire verdenking CAD en klepziekten, respectievelijk). Complicaties van myocardinfarct zoals ruptuur van papillairspieren, septum en vrije wand worden veelal middels echo gesteld, waarbij MRI een alternatief is bij suboptimale echografische beoordeelbaarheid.

MRI is voor beide vraagstellingen een superieure diagnostische techniek.^{1,2,5-9} MRI is zeer geschikt voor het kwantitatief vaststellen van hartkamer dimensies, volumina en massa's. Door de goede temporele resolutie is MRI bovendien zeer geschikt voor het vaststellen van functionele parameters, zoals de ejectiefractie. De spatiele en contrast resolutie is dermate goed dat de myocardvitaliteit, als percentage van de gehele linker ventrikel, en de lokale transmurale uitbreiding van myocardinfarcering kan worden beoordeeld.

CT speelt een bescheiden diagnostische rol in deze patiëntengroep. Enerzijds vormen argumenten uit het oogpunt van stralingshygiëne hierbij een rol, maar ook de diagnostische accuratesse doet op veel punten onder voor die van MRI of andere technieken. CTA is eventueel te overwegen om coronaire anatomie in beeld te brengen voor guidance van interventie.¹⁰⁻¹⁵ CTA geeft na contrasttoediening een uitstekende afgrenzing van het myocard t.o.v. het bloedvolume, maar de

weefselkarakterisatie in termen van contrast-ruis verhouding zijn inferieur aan MRI. Ook de mogelijkheden voor het vaststellen van myocardvitaliteit zijn met CT nog in een experimenteel stadium en inferieur aan de mogelijkheden met MRI.^{3,4} Hartfunctie kan goed met CT bepaald worden,¹⁶ met vergelijkbare accuratesse als MRI, maar gaat gepaard met hogere stralingsdosis t.o.v. een statische scan acquisitie, alhoewel dit met de laatste scantechnieken tot een paar mSv beperkt kan worden.

Concluderend kan gesteld worden dat voor beide bovengenoemde vraagstellingen MRI het eerste keuze diagnosticum is, niet alleen in vergelijking met CT, maar ook in vergelijking met echocardiografie (voor kwantificering van linkerventrikeldimensies en –ejectiefractie en in combinatie met low-dose dobutamine stress voor het bepalen van myocardvitaliteit) en nucleaire technieken als myocard-SPECT en PET (voor bepaling van ejectiefractie, myocardgrootte en –vitaliteit).¹⁷⁻²⁰ CT speelt momenteel alleen een klinische rol in patiënten in wie MRI gecontraïndiceerd is (b.v. bij aanwezigheid van pacemaker).

Stabiele AP bij bekend coronairlijden

Het gaat hier om de patiënt met stabiele angina pectoris met bekend coronairlijden, geobjectiveerd middels CAG en al dan niet status na eerdere revascularisatie middels PCI en/of CABG. In de asymptomatische patiënt bestaat in principe geen indicatie voor aanvullende diagnostiek behalve als er de verdenking bestaat op een belangrijke verandering (bijv door sterk veranderd ECG of echo, verricht in het kader van routine controle of om andere redenen, zoals pre-operatieve screening). De patiënt kan dan worden beschouwd als symptomatisch. Voor de toepassing van CT en MRI in de symptomatische patiënt is minder literatuur beschikbaar dan in de patiënt met primaire verdenking CAD.

Dobutamine stress cine of adenosine perfusie MRI in combinatie LGE imaging kan informatie verschaffen over uitgebreidheid en lokalisatie van (rest-)ischemie, ook in de patiënt met status na revascularisatie met hernieuwde klachten of na doorgemaakt myocardinfarct.^{1,2,5,9,17-31} Het kan informatie verschaffen over de culprit stenose en therapiekeuze ondersteunen. MRA zou overwogen kunnen worden voor de beoordeling van de doorgankelijkheid van veneuze bypass grafts,^{32,33} maar hiervoor is CTA een evident superieur alternatief.

CTA is een accurate techniek voor beoordeling van doorgankelijkheid van veneuze of arteriele grafts.³⁴⁻⁴³ In de patiënt na PCI en stenting kan CTA de aanwezigheid van nieuwe vernauwingen en de doorgankelijkheid van stents met diameter van tenminste 3 mm visualiseren.⁴⁴⁻⁴⁷ Veelal heeft ischemie beoordeling hier de voorkeur, gezien de reeds aanwezige CAD en de suboptimale specificiteit en PPV van CTA.

Bekend coronairlijden	MRI	CT
Risicostratificatie na (Non-) STEMI: - Infarctgrootte / vitaliteit / LV ejectiefractie	A 1,2,5-9	D 3,4,16
Verdenking thrombus in LV	B* 48-50	B 51,52
Technische guidance bij complexe coronaire interventies / chronische totale occlusies	D	C 10-15
Ruptuur van septum / vrije wand / papillairspier	C 53	D
Recidief / persistente POB klachten	B 1,2,5,9,17-31	C 34-47

A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden

B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden (* betekent praktische voorkeur)

C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen

D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten

E Geen indicatie

Referenties

1. Korosoglou G, Elhmidi Y, Steen H, et al. Prognostic value of high-dose dobutamine stress magnetic resonance imaging in 1,493 consecutive patients: assessment of myocardial wall motion and perfusion. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:1225-34.
2. Bingham SE, Hachamovitch R. Incremental prognostic significance of combined cardiac magnetic resonance imaging, adenosine stress perfusion, delayed enhancement, and left ventricular function over preimaging information for the prediction of adverse events. *Circulation* 2011;123:1509-18.
3. Lardo AC, Cordeiro MA, Silva C, et al. Contrast-enhanced multidetector computed tomography viability imaging after myocardial infarction: characterization of myocyte death, microvascular obstruction, and chronic scar. *Circulation*.2006;113:394-404.
4. Gerber BL, Belge B, Legros GJ, et al. Characterization of acute and chronic myocardial infarcts by multidetector computed tomography: comparison with contrast-enhanced magnetic resonance. *Circulation* 2006;113:823-33.
5. Wellnhofer E, Olariu A, Klein C, et al. Magnetic resonance low-dose dobutamine test is superior to SCAR quantification for the prediction of functional recovery. *Circulation* 2004;109:2172-2174.
6. Gutberlet M, Frohlich M, Mehl S, et al. Myocardial viability assessment in patients with highly impaired left ventricular function: comparison of delayed enhancement, dobutamine stress MRI, end-diastolic wall thickness, and Tl201-SPECT with functional recovery after revascularization. *Eur Radiol* 2005;15:872-880.
7. Kim RJ, Wu E, Rafael A et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000;343:1445-1453.
8. Kuhl HP, Beek AM, van der Weerd AP et al. Myocardial viability in chronic ischemic heart disease: comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:1341-1348.
9. Klein C, Nagel E, Gebker R et al. Magnetic resonance adenosine perfusion imaging in patients after coronary artery bypass graft surgery. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:437-445.
10. Soon KH, Cox N, Wong A et al. CT coronary angiography predicts the outcome of percutaneous coronary intervention of chronic total occlusion. *J Interv Cardiol* 2007;20: 359-366.
11. Mollet NR, Hoyer A, Lemos PA et al. Value of preprocedure multislice computed tomographic coronary angiography to predict the outcome of percutaneous recanalization of chronic total occlusions. *Am J Cardiol* 2005; 95: 240-243
12. Gasparovic H, Rybicki FJ, Millstine J et al. Three dimensional computed tomographic imaging in planning the surgical approach for redo cardiac surgery after coronary revascularization. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; 28: 244-249
13. Aviram G, Sharony R, Kramer A et al. Modification of surgical planning based on cardiac multidetector computed tomography in reoperative heart surgery. *Ann Thorac Surg* 2005; 79: 589-595

14. Kamdar AR, Meadows TA, Roselli EE et al. Multidetector computed tomographic angiography in planning of reoperative cardiothoracic surgery. *Ann Thorac Surg* 2008; 85: 1239-1245
15. Cho JR, Kim YJ, Ahn CM et al. Quantification of regional calcium burden in chronic total occlusion by 64-slice multi-detector computed tomography and procedural outcomes of percutaneous coronary intervention. *Int J Cardiol* 2010; 145: 9-14
16. Sarwar A, Shapiro MD, Nasir K, et al. Evaluating global and regional left ventricular function in patients with reperfused acute myocardial infarction by 64-slice multidetector CT: a comparison to magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2009;3:170-7.
17. Bodi V, Sanchis J, Lopez-Lereu MP, et al. Prognostic value of dipyridamole stress cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:1174-1179.
18. Schwitter J, Wacker CM, Wilke N, et al; MR-IMPACT Investigators. MR-IMPACT II: Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary artery disease Trial: perfusion-cardiac magnetic resonance vs. single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease: a comparative multicentre, multivendor trial. *Eur Heart J*. 2013 Mar;34(10):775-81.
19. de Jong MC, Genders TS, van Geuns RJ, Moelker A, Hunink MG. Diagnostic performance of stress myocardial perfusion imaging for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2012 Sep;22(9):1881-95.
20. Jaarsma C, Leiner T, Bekkers SC, et al. Diagnostic performance of noninvasive myocardial perfusion imaging using single-photon emission computed tomography, cardiac magnetic resonance, and positron emission tomography imaging for the detection of obstructive coronary artery disease: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2012 May 8;59(19):1719-28.
21. Paetsch I, Jahnke C, Wahl A et al. Comparison of dobutamine stress magnetic resonance, adenosine stress magnetic resonance, and adenosine stress magnetic resonance perfusion. *Circulation* 2004; 110: 835-842
22. Jahnke C, Nagel E, Gebker R, et al. Prognostic value of cardiac magnetic resonance stress tests: adenosine stress perfusion and dobutamine stress wall motion imaging. *Circulation* 2007;115:1769-1776.
23. Watkins S, McGeoch R, Lyne J et al. Validation of magnetic resonance myocardial perfusion imaging with fractional flow reserve for the detection of significant coronary heart disease. *Circulation* 2009;120:2207-2213.
24. Klem I, Heitner JF, Shah DJ et al. Improved detection of coronary artery disease by stress perfusion cardiovascular magnetic resonance with the use of delayed enhancement infarction imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1630-1638.
25. Steel K, Broderick R, Gandla V et al. Complementary prognostic values of stress myocardial perfusion and late gadolinium enhancement imaging by cardiac magnetic resonance in patients with known or suspected coronary artery disease. *Circulation* 2009;120:1390-1400.
26. Heilmaier C, Bruder O, Meier F et al. Dobutamine stress cardiovascular magnetic resonance imaging in patients after invasive coronary revascularization with stent placement. *Acta Radiol* 2009;50:1134-1141.
27. Hundley WG, Hamilton CA, Thomas MS et al. Utility of fast cine magnetic resonance imaging and display for the detection of myocardial ischemia in patients not well suited for second harmonic stress echocardiography. *Circulation* 1999;100:1697-1702.
28. Korosoglou G, Lossnitzer D, Schellberg D et al. Strain-encoded cardiac MRI as an adjunct for dobutamine stress testing: incremental value to conventional wall motion analysis. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:132-140.
29. Kuijpers D, Ho KY, van Dijkman PR et al. Dobutamine cardiovascular magnetic resonance for the detection of myocardial ischemia with the use of myocardial tagging. *Circulation* 2003;107:1592-1597.
30. Paetsch I, Jahnke C, Ferrari VA et al. Determination of interobserver variability for identifying inducible left ventricular wall motion abnormalities during dobutamine stress magnetic resonance imaging. *Eur Heart J* 2006;27:1459-1464.
31. Wahl A, Paetsch I, Roethemeyer S et al. High-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular MR imaging after coronary revascularization in patients with wall motion abnormalities at rest. *Radiology* 2004;233:210-216.
32. Duerinckx AJ, Atkinson D, Hurwitz R. Assessment of coronary artery patency after stent placement using magnetic resonance angiography. *J Mag Res Imag* 1998;8:896-902.
33. Hug J, Nagel E, Bornstedt A et al. Coronary arterial stents: Safety and artifacts during MR imaging. *Radiology* 2000; 216: 781-787.

34. Meyer TS, Martinoff S, Hadamitzky M et al. Improved noninvasive assessment of coronary artery bypass grafts with 64-slice computed tomographic angiography in an unselected patient population. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 946-950
35. Onuma Y, Tanabe K, Chihara R et al. Evaluation of coronary artery bypass grafts and native coronary arteries using 64-slice multidetector computed tomography. *Am Heart J* 2007; 154: 519-526
36. Weustink AC, Nieman K, Pugliese F et al. Diagnostic accuracy of computed tomography angiography in patients after bypass grafting: comparison with invasive coronary angiography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009; 2: 816-824
37. Tochii M, Takagi Y, Anno H, et al. Accuracy of 64-slice multidetector computed tomography for diseased coronary artery graft detection. *Ann Thorac Surg.* 2010;89:1906-11.
38. Dijkers R, Willems TP, Tio RA, et al. The benefit of 64-MDCT prior to invasive coronary angiography in symptomatic post-CABG patients. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2007;23:369-77.
39. Jabara R, Chronos N, Klein L, et al. Comparison of multidetector 64-slice computed tomographic angiography to coronary angiography to assess the patency of coronary artery bypass grafts. *Am J Cardiol.* 2007;99:1529-34.
40. Levisman JM, Budoff MJ, Karlsberg RP. Long-term coronary artery graft patency as evaluated by 64-slice coronary computed tomographic angiography. *Coron Artery Dis.* 2011;22:521-5.
41. de Graaf FR, van Velzen JE, Witkowska AJ, et al. Diagnostic performance of 320-slice multidetector computed tomography coronary angiography in patients after coronary artery bypass grafting. *Eur Radiol.* 2011;21:2285-96.
42. Ropers D, Pohle FK, Kuettner A et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography in patients after bypass surgery using 64-slice spiral computed tomography with 330-ms gantry rotation. *Circulation* 2006;114:2334-2341.
43. Nazeri I, Shahabi P, Tehrai M et al. Assessment of patients after coronary artery bypass grafting using 64-slice computed tomography. *Am J Cardiol* 2009;103:667-673.
44. André F, Korosoglou G, Hosch W, et al. Performance of dual source versus 256-slice multi-slice CT in the evaluation of 16 coronary artery stents. *Eur J Radiol.* 2013;82:601-7.
45. Andreini D, Pontone G, Mushtaq S, et al. Coronary in-stent restenosis: assessment with CT coronary angiography. *Radiology.* 2012;265:410-7.
46. Veselka J, Cadova P, Tomasov P, et al. Dual-source CT angiography for detection and quantification of in-stent restenosis in the left main coronary artery: comparison with intracoronary ultrasound and coronary angiography. *J Invasive Cardiol.* 2011;23:460-4.
47. Zhang J, Li M, Lu Z, et al. In vivo evaluation of stent patency by 64-slice multidetector CT coronary angiography: shall we do it or not? *Int J Cardiovasc Imaging.* 2012;28:651-8.
48. Lanzillo C, Di Roma M, Sciahbasi A, et al. Cardiac magnetic resonance detection of left ventricular thrombus in acute myocardial infarction. *Acute Card Care.* 2013;15:11-6.
49. Weinsaft JW, Kim RJ, Ross M, et al. Contrast-enhanced anatomic imaging as compared to contrast-enhanced tissue characterization for detection of left ventricular thrombus. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2009;2:969-79.
50. Srichai, MB, Junior C, Rodriguez LL, et al. Clinical, imaging, and pathological characteristics of left ventricular thrombus: a comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging, transthoracic echocardiography, and transesophageal echocardiography with surgical or pathological validation. *Am Heart J.* 2006;152:75-84.
51. Shriki JE, Shinbane J, Lee C, et al. Incidental myocardial infarct on conventional nongated CT: a review of the spectrum of findings with gated CT and cardiac MRI correlation. *AJR Am J Roentgenol.* 2012;198:496-504.
52. Bittencourt MS, Achenbach S, Marwan M, et al. Left ventricular thrombus attenuation characterization in cardiac computed tomography angiography. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2012;6:121-6.
53. Krishnan U, McCann GP, Hickey M, et al. Role of contrast-enhanced magnetic resonance imaging in detecting early adverse remodeling and subacute ventricular wall rupture complicating myocardial infarction. *Heart Vessels.* 2008;23:430-2.

2. Myocardiale aandoeningen

Wouter van Es, Marcel Kofflard, Lilian Meijboom, Benno Rensing, Birgitta Velthuis

Het doel van beeldvorming bij cardiomyopathie is het vaststellen van de diagnose, ernst en prognose van de ziekte op basis van morfologische en functionele parameters. Een cardiomyopathie wordt gedefinieerd als een hartspier aandoening waarbij de hartspier zowel structurele als functionele veranderingen vertoont in afwezigheid van ischemische hartziekten, hypertensie, hartklepafwijkingen en aangeboren hartafwijkingen die de afwijkingen zouden kunnen verklaren.¹ Cardiomyopathieën kunnen worden onderverdeeld in primaire cardiomyopathie (alleen het hart betrokken) en secundaire cardiomyopathie (onderdeel van gegeneraliseerde systemische aandoeningen).² Een meer recente indeling maakt onderscheid in de verschillende morfologische en functionele fenotypen (hypertrofische cardiomyopathie, gedilateerde cardiomyopathie, arythmogene rechter kamer cardiomyopathie, restrictieve cardiomyopathie en cardiomyopathieën die niet in een van deze subgroepen vallen zoals non-compaction cardiomyopathie en tako-tsubo cardiomyopathie).¹ Als eerste lijn wordt vaak echocardiografie ingezet bij verdenking op en controle van een cardiomyopathie.

MRI speelt een kernrol, complementair aan echocardiografie, in cardiomyopathie diagnostiek. MRI is de gouden standaard voor cardiale volumes en functie, en non-invasieve weefsel typering met non-contrast en post-contrast technieken om vet infiltratie, oedeem, ijzerstapeling en fibrose/litteken weefsel te detecteren.³⁻¹⁰ De nauwkeurige gemeten ventrikel volumina kunnen worden gecorrigeerd voor lichaamsoppervlakte, geslacht, leeftijd en sport.¹¹⁻¹⁴ Het meenemen van papillairespieren en trabekels bij de bloed volume of bij de LV massa zal de ventrikel volume, massa en ejectie fractie significant veranderen.¹⁵ Kennis van de gebruikte analyse, protocol en referentiewaarden voor normale waarden is belangrijk voor het vroeg opsporen van dilaterende of hypertrofische cardiomyopathie en het correct diagnosticeren van arythmogene rechter ventrikel cardiomyopathie (ARVC).^{3,16}

De indicatie voor CT is beperkt en wordt alleen geadviseerd bij (1) patiënten met een suboptimale echografisch “window”, waarbij geen MRI kan worden verricht; (2) de (noninvasieve) beeldvorming van de coronairen gewenst is.¹⁷⁻¹⁹ Voor de vraagstelling aanwezigheid cardiomyopathie, functie, focale wandbewegingstoornissen en weefselkarakterisatie (myocardiale vervetting en litteken aankleuring) is CT inferieur ten opzichte van MRI. Functiebepaling voor de linker en rechter ventrikel met CT is wel betrouwbaar, maar heeft als nadeel een relatief hoge stralingsdosis.^{10,20-24}

In de klinische praktijk is naast echocardiografie, MRI de eerste keuze voor beeldvorming bij een myocardiale aandoening. CT heeft een beperkte rol bij cardiomyopathie, maar kan invasive angiografie vervangen ter uitsluiting van coronaire pathologie. Nucleaire FDG PET vormt een alternatieve mogelijkheid voor de detectie en controle van cardiale sarcoidose.

Hypertrofische cardiomyopathie

Hypertrofische cardiomyopathie is een autosomaal dominant genetische hartziekte, gekenmerkt door een hypertrofische, niet gedilateerde linker ventrikel (LV) in afwezigheid van andere cardiale (zoals hypertensie, aortaklep stenose) of systemische ziekten, die de hypertrofie kunnen verklaren. Alhoewel de prognose over het algemeen goed is, heeft een beperkt deel van de patiënten een verhoogd risico op plotse dood. Er zijn risicofactoren voor plotse dood beschreven, maar de positieve voorspellende waarde van deze factoren is laag.²⁵

MRI is geschikt voor het vaststellen van de diagnose en fenotype, voor prognostische doeleinden (LV massa, LV functie, aanwezigheid en mate van aankleuring myocard met contrast), en voor controle na therapie (myectomie en alcohol ablatie).^{3-10, 25-28}

De indicatie voor CT is beperkt tot het uitsluiten van coronairlijden.^{10,17-23}

Gedilateerde cardiomyopathie

Gedilateerde cardiomyopathie is gedefinieerd als linker ventrikel dilatatie (eind-diastolische diameter groter dan 60 mm.) en een verminderde ejectiefractie zonder hypertensie, kleplijden of coronaire afwijkingen die dit beeld kunnen verklaren. De rechter ventrikel kan ook betrokken zijn, maar dit is niet noodzakelijk voor de diagnose. MRI is zeer geschikt voor het vaststellen van de diagnose en de ernst van de ziekte op basis van morfologische en functionele parameters. Met behulp van late enhancement kan er onderscheid gemaakt worden tussen ischemische en niet-ischemische cardiomyopathie. Late enhancement bij niet-ischemische cardiomyopathie heeft prognostische betekenis. Aantonen of uitsluiten van thrombus in linker ventrikel kan met late enhancement en perfusie opnames.^{3-10, 29-33}

De indicaties voor CT zijn beperkt, LV functie en mate van dilatatie kunnen bepaald worden. CT kan de aanwezigheid van thrombus in linker ventrikel aantonen. CTA kan worden toegepast om een ischemische oorzaak uit te sluiten.^{10,17, 20-23}

Restrictieve cardiomyopathie

Restrictieve cardiomyopathie behoort tot de primaire cardiomyopathieën, waarbij alleen het hart is aangedaan. Het wordt gekenmerkt door diastolische disfunctie met sterke vergroting van beide atria. De systolische functie is meestal behouden.³⁴ Andere primaire en secundaire cardiomyopathieën zoals HCM, stapeling ziektes, infiltratieve ziektes en endocardiale fibrose kunnen gepaard gaan met een restrictieve (patho)fysiologie.

MRI kan een rol spelen bij het onderscheiden van de verschillende ziektebeelden.³⁻¹⁰ In de kliniek is het onderscheid met pericarditis constrictiva vaak moeilijk te maken. Verdikking van het pericard en functionele parameters die wijzen op een constrictiva pathofysiologie zijn zeer behulpzaam bij het maken van dit onderscheid.³⁵⁻³⁸ MRI kan onderscheid maken tussen de zeldzame primaire restrictieve CMP en andere cardiomyopathieën met een restrictieve fysiologie.³⁴⁻³⁸ De indicatie voor CT is beperkt tot het vaststellen van pericardiale verdikking en verkalking.^{10,17, 20-23}

Endomyocardiale cardiomyopathieën

Endomyocardiale cardiomyopathieën zoals endomyocardiale fibrose en hypereosinofiel syndroom (Loeffler endocarditis) zijn secundaire cardiomyopathieën.

Cardiale MRI kan een belangrijke rol spelen in het necrotische, trombotische en fibrotische stadium van de ziekte. Trombi, en subendocardiale fibrose of necrose kunnen met MRI in beeld worden gebracht. Uitgebreidheid van de ziekte kan worden vastgesteld op basis van morfologische en functionele parameters. Kwantificeren van systolische en diastolische functie en LV massa is mogelijk met speciale software. Er is anekdotisch bewijs dat het beloop van de therapie gevolgd kan worden.^{3-10, 39-42}

De indicatie voor CT is beperkt.^{10,17, 20-23}

Myocardiale betrokkenheid bij systeemziekten

Myocardiale betrokkenheid bij systeemaandoeningen wordt beschouwd als een secundaire cardiomyopathie. Secundaire cardiomyopathieën worden gekenmerkt door multi-orgaan betrokkenheid. Het is een heterogene groep aandoeningen waaronder infiltratieve (amyloidose),

vet en glycogeen stapeling (Gaucher, Pompe), inflammatoire (sarcoidose, viraal), cardiale metastasen, endocriene, neuromusculaire, auto-immuun (sclerodermie, SLE), toxiciteit (zware metalen, chemotherapeutica, bestraling, drugs, alcohol) en voedingsdeficiëntie ziektes vallen.

Systeemaandoeningen waarbij cardiale MRI een belangrijke diagnostische bijdrage kan leveren zijn: amyloidose⁴³⁻⁴⁹, sarcoidose⁵⁰⁻⁵⁴, hemochromatose⁵⁵⁻⁵⁷ en sclerodermie⁵⁸⁻⁶⁰. Met MRI kan vastgesteld worden of myocard betrokken is met behulp van functionele en morfologische parameters (oedeem beeldvorming, late enhancement beeldvorming). Verder kan de uitgebreidheid van de ziekte in beeld worden gebracht alsmede kwantificatie van systolische en diastolische functie en LV massa.³⁻¹⁰

De indicatie voor CT is beperkt.^{17, 20-23}

Aritmogene rechter ventrikel cardiomyopathie

Aritmogene rechter ventrikel cardiomyopathie (ARVC) is een zeldzaam, hoofdzakelijk genetisch bepaalde, progressieve hartspieraandoening die vooral de rechter ventrikel aantast. Omdat LV betrokkenheid al vroeg aanwezig kan zijn, wordt tegenwoordig ook wel gesproken van aritmogene cardiomyopathie (AC). Het ziektebeeld wordt gekenmerkt door progressieve myocardiale celdood met fibreus-vettige degeneratie wat leidt tot wandverdunding, (micro-)aneurysmata, en geleidingsstoornissen met potentieel fatale ventriculaire aritmieën. Het vaststellen van ARVC gebeurt met behulp van de nieuwe Internationale Task Force Criteria (TFC) gebaseerd op major en minor bevindingen met ECG, ventriculaire ritmestoornissen, globale of regionale rechter ventrikel dysfunctie en structurele veranderingen op echocardiografie en/of MRI, histopathologie en familie voorgeschiedenis.¹⁶ De diagnose wordt vastgesteld als er twee major, een major en twee minor, of vier minor criteria aanwezig zijn uit verschillende groepen.

De TFC voor MRI eisen een regionale rechter ventrikel (RV) wandbewegingsstoornis (akinesie, dyskinesie of dyssynchrone RV contractie) in combinatie met verlaagde RV ejectiefractie of vergrote RV eind-diastolische volume.^{16,61,62} MRI is van waarde ten aanzien van de uitgebreide differentiaal diagnose en voor prognose.^{3-6,63,64}

De indicatie voor CT is beperkt.^{17, 21, 22, 61, 65, 66}

Non-compaction cardiomyopathie

Non-compaction cardiomyopathie (N-CC) wordt gekarakteriseerd door een dunne, compacte epicardiale laag en een sterk verdikte endocardiale laag met versterkte trabecularisatie. N-CC wordt geclassificeerd als een primaire cardiomyopathie met een voornamelijk autosomaal dominant overervingspatroon, en is geassocieerd met meerdere genmutaties. N-CC kan leiden tot hartfalen, trombo-embolieën en maligne aritmieën.

MRI is geschikt voor het vaststellen van de diagnose op basis van morfologie (ratio non-compact myocard ten opzichte van compact myocard > 2.3 tijdens diastole), het bepalen van de ernst van de ziekte op basis van functionele parameters (LV en RV functie), en het aantonen van thrombi.^{3-10,67-70}

De indicatie voor CT is beperkt. CT kan als alternatief dienen bij contra-indicaties voor MRI.^{10, 17, 20-23, 71}

Takotsubo cardiomyopathie

Takotsubo (stress) cardiomyopathie wordt gekarakteriseerd door acute, ernstige, reversibele, periapicale systolische LV dysfunctie veroorzaakt door acute, emotionele of lichamelijke stress zonder aanwijzing voor significant coronair lijden. De exacte prevalentie van Tako-tsubo cardiomyopathie is onbekend, maar bedraagt ongeveer 2% van alle presentaties voor acuut

coronair syndroom in Amerika en Europa. Verhoogde sympathische activiteit lijkt een belangrijke rol te spelen in de tijdelijke LV dysfunctie.

MRI is geschikt voor het vaststellen van de diagnose en de ernst van de ziekte op basis van functionele kenmerken, en voor het aantonen van trombi.^{3-10,72-74}

De indicatie voor CT is beperkt. CT is wel geschikt ter uitsluiting van coronairlijden als differentiaal diagnose voor Takotsubo cardiomyopathy.^{10, 17, 20-23, 75}

Myocardiale aandoeningen		MRI	CT
Ventrikelfunctie	Linker ventrikel	B* 3, 10	B 10, 20-23
	Rechter ventrikel	B* 3	B 21, 22
Verdenking op, en differentiatie van, een cardiomyopathie	Hypertrofische CMP	A 3-10, 25-28	C 10, 17-20
	Dilaterende CMP	A 3-10, 7, 29-33	C 10, 17, 20-23
	Restrictieve CMP	A 3-10, 34-38	E 10, 17, 20-23
	Endomyocardiale CMP	A 3-10, 39-42	E 10, 17, 20-23
	Systeem aandoening	A 3-10, 43-60	E 10, 17, 20-23
	ARVC	A 3-6, 16, 61-64	C 17, 21, 22, 61, 65, 66
	Non-compaction CMP	A 3-10, 67-70	C 10, 17, 20-23, 71
	Takotsubo CMP	A 3-10, 72-74	C 10, 17, 20-23, 75

- A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden
- B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden (* betekent praktische voorkeur)
- C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E Geen indicatie

Referenties

1. Elliott P, Andersson B, Arbustini E, et al. Classification of the cardiomyopathies: a position statement from the European Society of Cardiology Working Group on myocardial and pericardial diseases. *Eur Heart J* 2008 Jan;29(2):270-276.
2. Maron BJ, Towbin JA, Thiene G, et al. Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies: an American Heart Association scientific statement from the council on clinical cardiology, heart failure and transplantation committee; quality of care and outcomes research and functional genomics and translational biology interdisciplinary working groups; and Council on Epidemiology and Prevention. *Circulation* 2006; 113(14):1807-1816.
3. Pennell DJ. Cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2010;121(5):692-705.
4. O'Donnell DH, Abbara S, Chaithiraphan V, et al. Cardiac MR imaging of nonischemic cardiomyopathies: imaging protocols and spectra of appearances. *Radiology* 2012;262(2):403-422.
5. Parzai C, O'Hanlon R, Prasad SK, Mohiaddin RH. Diagnostic and prognostic value of cardiovascular magnetic resonance in non-ischemic cardiomyopathies. *J Cardiovasc Magn Res* 2012;14:54-78.
6. De Smet K, Verdries D, Tanaka K, et al. MRI in the assessment of non ischemic myocardial diseases. *Eur J Radiology* 2012;81(7):1546-1548.
7. Ismail TF, Prasad SK, Pennell DJ. Prognostic importance of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in cardiomyopathy. *Heart* 2012;98:438-442.
8. Karamitsos TD, Neubauer S. The prognostic value of late gadolinium enhancement CMR in nonischemic cardiomyopathies. Review. *Curr Cardiol Rep* 2013;15(1):326.
9. Ordovas KG, Higgins CB. Delayed contrast enhancement on MR images of myocardium. *Radiology* 2011;261:356-374.
10. Greupner J, Zimmermann E, Grohmann A, et al. Head-to-head comparison of left ventricular function assessment with 64-row computed tomography, biplane left cineventriculography, and both 2- and 3-dimensional

- transthoracic echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging as the reference standard. *J Am Coll Cardiol* 2012;59(21):1897-1907.
11. Prakken NH, Velthuis BK, Teske AJ, et al. Cardiac MRI reference values for athletes and nonathletes corrected for body surface area, training hours/week and sex. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2010;17(2):198-203.
 12. Prakken NH, Cramer MJ, Teske AJ, et al. The effect of age in the cardiac MRI evaluation of the athlete's heart. *Int J Cardiol* 2011;149(1):68-73.
 13. Maceira AM, Prasad SK, Khan M, Pennell DJ. Reference right ventricular systolic and diastolic function normalized to age, gender and body surface area from steady-state free precession cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J*. 2006;27(23):2879-2888.
 14. Maceira AM, Prasad SK, Khan M, Pennell DJ. Normalized left ventricular systolic and diastolic function by steady state free precession cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2006;8(3):417-426.
 15. Chuang ML, Gona P, Hautvast GL, et al. Correlation of trabeculae and papillary muscles with clinical and cardiac characteristics and impact on CMR measures of LV anatomy and function. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5(11):1115-1123.
 16. Marcus FI, McKenna WJ, Sherill D et al. Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia: proposed modification of the Task Force Criteria. *Circulation* 2010;121(13):1533-1541 / *Eur Heart J* 2010;31(7):806-814.
 17. Nasis A, Mottram PM, Cameron JD, et al. Current and evolving clinical applications of multidetector cardiac CT in assessment of structural heart disease. *Radiology* 2013;267:11-25.
 18. Nagueh SF, Bierig M, Budoff MJ, et al. American society of echocardiography clinical recommendations for multimodality cardiovascular imaging of patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:473-498.
 19. Zhao L, Ma X, Delano MC, et al. Assessment of myocardial fibrosis and coronary arteries in hypertrophic cardiomyopathy using combined arterial and delayed enhanced CT: comparison with MR and coronary angiography. *Eur Radiol* 2013;23:1034-1043.
 20. Asferg C, Usinger L, Kristensen TS, et al. Accuracy of multi-slice computed tomography for measurement of left ventricular ejection fraction compared with cardiac magnetic resonance imaging and two-dimensional transthoracic echocardiography: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Radiol* 2012;81(5):e757-762.
 21. Takx RA, Moscariello A, Schoepf UJ, et al. Quantification of left and right ventricular function and myocardial mass: comparison of low-radiation dose 2nd generation dual-source CT and cardiac MRI. *Eur J Radiol* 2012;81(4):e598-604.
 22. Maffei E, Messalli G, Martini C, et al. Left and right ventricle assessment with cardiac CT: validation study vs. cardiac MR. *Eur Radiol* 2012;22(5):1041-1049.
 23. Williams MC, Cruden NL, Uren NG, Newby DE. A low-dose comprehensive cardiac CT protocol assessing anatomy, function, perfusion, and viability. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2013;7(1):69-72.
 24. van Ooijen PM, de Jonge GJ, Oudkerk M. Informatics in radiology: postprocessing pitfalls in using CT for automatic and semiautomatic determination of global left ventricular function. *Radiographics* 2012;32(2):589-599.
 25. Maron BJ, Maron MS. Hypertrophic cardiomyopathy. *Lancet* 2013;381(9862):242-255.
 26. To ACY, Dhillon A, Desai MY. Cardiac magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol Img* 2011;4:1123-1137.
 27. Maron MS. Clinical utility of cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *J Cardiovasc Magn Res* 2012;14:13-34.
 28. Green JJ, Berger JS, Kramer CM, Salerno M. Prognostic value of late gadolinium enhancement in clinical outcomes for hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol Img* 2012;5:370-377.
 29. Assomull RG, Prasad SK, Lyne J, et al. Cardiovascular magnetic resonance, fibrosis, and prognosis in dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1977-1985.
 30. Koikkalainen JR, Antila M, Lotjonen JM, et al. Early familial dilated cardiomyopathy: identification with determination of disease state parameter from cine MR image data. *Radiology* 2008;249:88-96.
 31. Shimizu I, Iguchi N, Watanabe H, et al. Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance as a novel technique to predict cardiac events in dilated cardiomyopathy patients. *Int J Cardiol* 2010;142:224-229.
 32. McCrohon JA, Moon JC, Prasad SK, McKenna WJ, Lorenz CH, Coats AJ, Pennell DJ. Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2003;108:54-59.
 33. Gulati A, Jabbour A, Ismail TF, et al. Association of fibrosis with mortality and sudden cardiac death in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy. *JAMA* 2013;6:309(9):896-908.
 34. Kushwaha SS, Fallon JT, Fuster V. Restrictive cardiomyopathy. *N Engl J Med* 1997;336(4):267-276.

35. Giorgi B, Mollet NR, Dymarkovsky S, et al Clinically suspected constrictive pericarditis. MR imaging assessment of ventricular septal motion and configuration in patients and healthy subjects. *Radiology* 2003;228:417-424
36. Hancock EW. Differential diagnosis of restrictive cardiomyopathy and constrictive pericarditis. *Heart* 2001;86:343-49.
37. Moreo A, Ambrosio G, De Chiara B et al. Influence of myocardial fibrosis on left ventricular diastolic function: noninvasive assessment by cardiac magnetic resonance and echo. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:437-443.
38. Rathi VK, Doyle M, Yamrozik J, et al . Routine evaluation of left ventricular diastolic function by cardiovascular magnetic resonance: a practical approach. *J Cardiovasc Magn Reson* 2008;10:36.
39. Debl K, Djavidani B, Buchner S, et al. Time course of eosinophilic myocarditis visualized by CMR. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008;10:21.
40. Ten Oever J, Theunissen LJHJ, Tick LW, Verbunt RJAM. Cardiac involvement in hypereosinophilic syndrome. *Neth J Med* 2011;69:240-244.
41. Post MC, Boomsma MF, van Heeswijk JP, et al. Cardiac magnetic resonance imaging showing complete resolution of subendocardial involvement in Churg-Strauss syndrome. *J Thorac Imaging* 2011;26:W81-2.
42. Porto AG, McAlindon E, Hamilton M, et al. Diagnosing cardiac involvement in the hypereosinophilic syndrome by cardiac magnetic resonance. *Am J Cardiol* 2013;112(1):135-136.
43. Kwong RY, Falk RH . Cardiovascular magnetic resonance in cardiac amyloidosis. *Circulation* 2005;111(2):122-124 .
44. Maceira AM, Joshi J, Prasad SK, et al. Cardiovascular magnetic resonance in cardiac amyloidosis. *Circulation* 2005; 111(2):186-193.
45. Van den Driesen RI, Slaughter RE, Strugnell WE. MR findings in cardiac amyloidosis. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186(6):1682-1685 .
46. Krombach GA, Hahn C, Tomars M, et al . Cardiac amyloidosis: MR imaging findings and T1 quantification, comparison with control subjects. *J Magn Reson Imaging* 2007;25(6):1283-1287.
47. Perugini E, Rapezzi C, Piva T, et al. Noninvasive evaluation of the myocardial substrate of cardiac amyloidosis by gadolinium cardiac magnetic resonance. *Heart* 2006;92(3):343-349.
48. Vogelsberg H, Mahrholdt H, Deluigi CC, et al . Cardiovascular magnetic resonance in clinically suspected cardiac amyloidosis: noninvasive imaging compared to endomyocardial biopsy. *J Am Coll Cardiol* 2008;51(10):1022-1030.
49. Maceira AM, Prasad SK, Hawkins PN, et al. Cardiovascular magnetic resonance and prognosis in cardiac amyloidosis. *J Cardiovasc Magn Reson* 2008;10:54.
50. Smedema JP, Snoep G , van Kroonenburgh MPG, et al. The additional value of gadolinium-enhanced MRI to standard assessment for cardiac involvement in patients with pulmonary sarcoidosis. *Chest* 2005;128 (3):1629-1637.
51. Smedema JP, Snoep G, van Kroonenburgh MP, et al . Evaluation of the accuracy of gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance in the diagnosis of cardiac sarcoidosis. *J Am Coll Cardiol* 2005;45 (10):1683-1690.
52. Vignaux O, Dhote R, Duboc D, et al. Clinical significance of myocardial magnetic resonance abnormalities in patients with sarcoidosis: a 1-year follow-up study . *Chest* 2002;122(6):1895-1901.
53. Ichinose A, Otani H, Oikawa M, et al. MRI of cardiac sarcoidosis: basal and subepicardial localization of myocardial lesions and their effect on left ventricular function. *Am J Roentgenol* 2008;191: 862-869.
54. Patel MR, Cawley PJ, Heitner JF, et al. Detection of myocardial damage in patients with sarcoidosis. *Circulation* 2009;120:1969-1977.
55. Pepe A, Positano V, Santarelli MF, et al. Multislice multiecho T2* cardiovascular magnetic resonance for detection of the heterogeneous distribution of myocardial iron overload. *J Magn Reson Imaging* 2006; 3:662-668.
56. Anderson LJ, Westwood MA, Holden S, et al. Myocardial iron clearance during reversal of siderotic cardiomyopathy with intravenous desferrioxamine: a prospective study using T2* cardiovascular magnetic resonance. *Br J Haematol* 2004;127(3):348-355.
57. Tanner MA, Galanello R, Dessi C, et al. A randomized, placebo-controlled, doubleblind trial of the effect of combined therapy with deferoxamine and deferiprone on myocardial iron in thalassemia major using cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2007; 115 (14):1876-1884.
58. Hachulla AL, Launay D, Gaxotte V, et al. Cardiac magnetic resonance imaging in systemic sclerosis: a cross-sectional observational study of 52 patients. *Ann Rheum Dis* 2009;68:1878-1884.
59. Tzelepis GE, Kelekis NL, Plastiras SC, et al. Pattern and distribution of myocardial fibrosis in systemic sclerosis: a delayed enhanced magnetic resonance imaging study. *Arthritis Rheum* 2007;56(11):3827-3836.
60. Mavrogeni S, Manoussakis MN, Karagiorga TC, et al. Detection of coronary artery lesions and myocardial necrosis by magnetic resonance in systemic necrotizing vasculitides. *Arthritis Rheum* 2009;61:1121-1129.
61. Tandri H, Calkins H. MR and CT imaging of Arrhythmogenic Cardiomyopathy. *Card*

- Electrophysiol Clin 2011 Jun 1;3(2):269-280.
62. Tandri H, Macedo R, Calkins H, et al. Multidisciplinary Study of Right Ventricular Dysplasia Investigators. Role of magnetic resonance imaging in arrhythmogenic right ventricular dysplasia: insights from the North American arrhythmogenic right ventricular dysplasia (ARVD/C) study. *Am Heart J* 2008;155(1):147-153.
 63. Quarta G, Husain SI, Flett AS, et al. Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy mimics: role of cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013;15:16.
 64. Deac M, Alpendurada F, Fanaie F, et al. Prognostic value of cardiovascular magnetic resonance in patients with suspected arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. *Int J Cardiol* 2013;168(4):3514-3521.
 65. Kimura F, Sakai F, Sakomura Y, et al. Helical CT features of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. *Radiographics* 2002;22:1111-1124.
 66. Valsangiacomo Buechel ER, Mertens LL. Imaging the right heart: the use of integrated multimodality imaging. *Eur Heart J* 2012;3(8):949-960.
 67. Petersen SE, Selvanayagam JB, Wiesmann F, et al. Left ventricular non-compaction: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46(1):101-105.
 68. Dellegrottaglie S, Pedrotti P, Roghi A, et al. Regional and global ventricular systolic function in isolated ventricular non-compaction: pathophysiological insights from magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol* 2012;158(3):394-399.
 69. Thuny F, Jacquier A, Jop B, et al. Assessment of left ventricular non-compaction in adults: side-by-side comparison of cardiac magnetic resonance imaging with echocardiography. *Arch Cardiovasc Dis* 2010 Mar;103(3):150-159
 70. Leung SW, Elayi CS, Charnigo RJ Jr, Syed MA. Clinical significance of right ventricular dysfunction in left ventricular non-compaction cardiomyopathy. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012;28(5):1123-1131.
 71. Grillone S, Nucifora G, Piccoli G, et al. Biventricular non-compaction demonstrated on multi-slice computed tomography with echocardiographic correlation. *J Cardiovasc Med* 2012;14(9):677-680.
 72. Neil C, Nguyen TH, Kucia A, et al. Slowly resolving global myocardial inflammation/oedema in Tako-Tsubo cardiomyopathy: evidence from T2-weighted cardiac MRI. *Heart* 2012;98(17):1278-1284.
 73. Sharkey SW, Windenburg DC, Lesser JR, et al. Natural history and expansive clinical profile of stress (tako-tsubo) cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2010;55(4):333-341.
 74. Eitel I, von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bernhardt P, et al. Clinical characteristics and cardiovascular magnetic resonance findings in stress (takotsubo) cardiomyopathy. *JAMA* 2011;306(3):277-286.
 75. Nance JW, Schoepf UJ, Ramos-Duran L. Tako-tsubo cardiomyopathy: findings on cardiac CT and coronary catheterisation. *Heart*. 2010;96(5):406-407.

3. Myocarditis, cardiale tumoren, pericardiale aandoeningen

Bas Bekkers, Marc Kock, Hildo Lamb, Miranda Snoeren, Maureen van der Vlugt

Myocarditis

Myocarditis is een inflammatoire aandoening van het myocard, gepaard gaande met oedeem en necrose en kan leiden tot hartfalen en/of ritmestoornissen. Door de zeer uiteenlopende klinische presentatie en oorzaken (infectieus [o.a. viraal] en niet-infectieus [o.a. SLE, sarcoïdosis]) is de diagnostiek uitdagend. Anamnese, ECG, biomarkers (CRP, troponine), serologische en nucleaire testen (Indium-111 gelabelde antimyosine antilichamen en Gallium-67 scanning) en echocardiografie zijn onvoldoende sensitief en specifiek gebleken in de algemene klinische praktijk. Echocardiografie is wel geschikt voor het vervolgen van linker en rechter ventrikelfunctie, i.g.v. een bewezen myocarditis. In het diagnostisch traject, kan cardiac computed tomography angiography (CCTA) behulpzaam zijn om een acuut coronair syndroom uit te sluiten.

Cardiovasculaire magnetische resonantie imaging (MRI) is daarentegen veelbelovend. Endomyocardiale biopsie (EMB) geldt als 'gouden standaard' voor de diagnose, maar wordt beperkt door 'sampling error', beschikbaarheid en benodigde expertise van de histologische beoordeling. Het aantonen van een specifieke inflammatoire aandoening (bijvoorbeeld virale myocarditis, cardiale sarcoïdosis, reuscel-myocarditis, e.a) is echter van belang voor een gerichte behandeling en prognose.

De volgende MRI technieken worden gebruikt:

- Cine-opnamen in korte as (multi-slice gehele hart van basis naar apex), verticale en horizontale as richting, ter beoordeling van regionale/globale wandbewegingsstoornissen.
- Oedeem ratio ($ER = [SI_{[myocard]}/SI_{[perifeer\ spier]}] \geq 2$ (T2 gewogen, black-blood turbo spin echo opnamen + vet-suppressie) in korte as en/of axiale richting.¹⁻³
- Global Relative Enhancement ($gRE \geq 4$ (T1 gewogen, black-blood turbo spin echo opnamen) in axiale richting vóór en 1-4 minuten (gem. 2 min.) na toediening van Gadolinium i.v. [0,1 mmol/kg] met plaatsing van een saturatieslab over de atria. Door ROI te tekenen in het myocard en skeletspier (bijv. erector spinae), kan de gRE berekend worden (zie formule).¹⁻³
- Delayed enhancement opnamen in korte, verticale, en horizontale lange as richting, met aanpassing van inversietijd. Focale of lineaire gebieden met hoge(re) SI epicardiaal en/of mid-myocardiaal vooral gelegen in de laterale en/of septale segmenten kunnen passen bij myocarditis.^{4,5}

Hoewel veelbelovend, variëren de sensitiviteit en specificiteit sterk van de verschillende technieken sterk in de verschillende studies. Zo variëren de sensitiviteit en specificiteit van T2 (ER) en T1 spin echo (gRE) van 74-84%, 80-87% en 74-79%, 75-84%, respectievelijk. Bovendien is het mechanisme van de afwijkingen bij beide technieken is niet goed bekend en histologische validatie beperkt.^{6,7} T2 en T1 spin echo sequenties zijn bovendien gevoelig voor artefacten en hebben i.h.a. een lage SNR. Van alle MRI technieken heeft DE-CMR weliswaar een lagere sensitiviteit (44-76%) maar hogere specificiteit (91-100%) en is het best gevalideerd.⁷ Een combinatie van minimaal 2 (ongeacht welke) van de drie MRI technieken (ER, gRE , DE-MRI) is volgens sommigen het meest accuraat.⁶ De onderzochte MRI technieken zijn voornamelijk verricht m.b.v. 1,5T scanners. Door gerichte EMB o.b.v. MRI afwijkingen, kan de 'sampling error' mogelijk verminderd worden. Een gecombineerde EMB en MRI is synergistisch maar dient bij voorkeur in een expertise centrum plaats te vinden.⁸

Van alle niet-invasieve diagnostisch mogelijkheden bij myocarditis is MRI het meest accuraat. Myocarditis wordt gediagnosticeerd o.b.v. het klinisch beeld en typische MRI bevindingen. EMB kan van toegevoegde waarde zijn maar dient bij voorkeur plaats te vinden in een centrum met ervaring.

Myocarditis	MRI		CT
	A	1-7	C

- A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden
- B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden (* betekent praktische voorkeur)
- C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E Geen indicatie

Referenties

1. Friedrich MG, Strohm O, Schulz-Menger J, et al. Contrast media-enhanced magnetic resonance imaging visualizes myocardial changes in the course of viral myocarditis. *Circulation* 1998; 97(18): 1802-9.
2. Abdel-Aty H, Boyé P, Zagrosek A, et al. Diagnostic performance of cardiovascular magnetic resonance in patients with suspected acute myocarditis: comparison of different approaches. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45(11): 1815-22.
3. Gutberlet M, Spors B, Thoma T, et al. Suspected chronic myocarditis at cardiac MR: diagnostic accuracy and association with immunohistologically detected inflammation and viral persistence. *Radiology* 2008; 246(2): 401-9.
4. Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A, et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. *Circulation* 2004; 109(10): 1250-8.
5. De Cobelli F, Pieroni M, Esposito A, et al. Delayed gadolinium-enhanced cardiac magnetic resonance in patients with chronic myocarditis presenting with heart failure or recurrent arrhythmias. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47(8): 1649-54.
6. Friedrich MG, Sechtem U, Schulz-Menger J, et al. Cardiovascular magnetic resonance in myocarditis: A JACC White Paper. *J Am Coll Cardiol* 2009; 53(17): 1475-87.
7. Mahrholdt H, Sechtem U. Noninvasive differentiation between active and healed myocarditis by cardiac magnetic resonance: are we there yet? *JACC Cardiovasc Imaging* 2009; 2(2): 139-42.
8. Baccouche H, Mahrholdt H, Meinhardt G, et al. Diagnostic synergy of non-invasive cardiovascular magnetic resonance and invasive endomyocardial biopsy in troponin-positive patients without coronary artery disease. *Eur Heart J* 2009; 30(23): 2869-79.

Cardiale tumoren

Primaire tumoren van het hart zijn zeer zeldzaam met een prevalentie variërend van 0.001-0.3% in autopsie onderzoek.¹ Cardiale metastasen komen 40-50x vaker voor dan primaire cardiale tumoren. Veelvoorkomende bronnen van metastasen zijn: melanoom, schildklier-, mamma-, niercel-, long-, oesophagus- en hepatocellulair carcinoom. De meeste primaire cardiale tumoren (70%) zijn benigne, in volgorde van meest voorkomende: myxoom (50%), fibroelastoom (15%), lipoom, fibroom, hemangioom, en rhabdomyoom. Onder de maligne tumoren (30%) komen sarcomen het vaakst voor, waarna primaire cardiale lymfomen volgen. Een aantal laesies kunnen op een tumor lijken (zogenaamde "pseudotumoren") zoals thrombi, cysten, en vegetaties.

De klinische presentatie van cardiale tumoren is aspecifiek en mede hierdoor worden zij vaak laat of per toeval ontdekt, meestal bij echocardiografie.² Cardiale magnetische resonantie imaging (MRI) is in verband met de mogelijkheid tot weefselkarakterisering in het algemeen de meest geschikte beeldvormende techniek voor verdere evaluatie.³⁻⁷ Ook Computed Tomografie (CT) met electrocardiografische (ECG)-triggering of Positron Emissie Tomografie CT (PET-CT) kunnen

aanvullende informatie geven.⁸ De combinatie van klinische en beeldvormende karakteristieken maakt vaak differentiatie tussen een benigne of maligne cardiale tumor mogelijk, en kan zelfs suggestief zijn voor een bepaald type tumor. Het gebruik van meerdere beeldvormende technieken helpt om de verdere multidisciplinaire behandeling te bepalen.^{9,10}

Cardiale MRI is als beeldvormende techniek het beste in staat tot weefselkarakterisering en zodoende onderscheid te maken tussen een maligne of benigne tumor.¹¹⁻¹⁴ Door cine opnamen kunnen ook de functionele en hemodynamische gevolgen van de massa en de relatie t.o.v. andere cardiale structuren zoals hartkleppen beoordeeld worden. Door de grootte van het afgebeelde gebied is uitbreiding en/of invasie van omliggende structuren (centrale vaten, pericard, lymfeklieren) goed te beoordelen. Op T2-gewogen opnamen (black-blood met en zonder vet-suppressie) kan de massa gedelineerd worden t.o.v. de omgeving. Eventueel kunnen T2* opnamen verricht worden om deposities van bloed(resten) aan te tonen. Op T1-gewogen opnamen (black-blood) voor en direct na contrast (“early enhancement”) kan de aankleuring van de massa beoordeeld worden. Middels een inversion recovery gradient echo sequentie met lange inversietijd kan trombus van tumor onderscheiden worden. Ook late aankleuring opnamen zijn van belang ter karakterisering en differentiatie van de massa.

Hoewel MRI het voorkeursoronderzoek bij patiënten met cardiale tumoren is, is ECG- getriggerde CT waardevol indien er contra-indicaties zijn voor MRI, of indien MRI niet beschikbaar is.³ CT kan in sommige gevallen complementair zijn aan MRI, bijvoorbeeld door betere beoordeelbaarheid van calcificaties. CT is snel en maakt anatomische en functionele beoordeling en, beperkt, karakterisering van weefsel mogelijk met zeer hoge spatiële resolutie. Tevens is beoordeling van metastasering op afstand en de relatie met omliggende structuren goed mogelijk. Met CT is data-acquisitie over een groter deel van het R-R interval mogelijk – tegen hogere stralendosis – waarmee functionele analyses kunnen worden verricht, en ventriculaire volumes en ejectionfracatie berekend kunnen worden.

Cardiale tumoren worden meestal tijdens (routine) echocardiografisch onderzoek ontdekt. Afhankelijk van het type tumor is echocardiografie het onderzoek van keuze voor follow-up vanwege de gemakkelijke toegankelijkheid, beschikbaarheid en veiligheid. Voor de meeste (grotere) tumoren zal vanwege het beperkte echocardiografische window, verdere weefselkarakterisering en het verkrijgen van een betere indruk van regionale uitbreiding en relatie met omliggende structuren, cardiale MRI de techniek van eerste keuze zijn. Een overzicht van de MRI karakteristieken van de verschillende soorten tumoren kan gevonden worden in een overzichtsartikel, zie referentie 15. In geval van contra-indicaties voor MRI is CT een goed alternatief. De rol van PET-CT bij cardiale tumoren is nog experimenteel.^{16,17}

Cardiale tumoren	MRI	CT
Nadere evaluatie van per toeval bij echocardiografie ontdekte cardiale tumor	A 3-7	C 2, 8, 14
Weefsel karakterisering van de tumor	A 11- 13	D 9, 10
Beoordeling van hart- en extra cardiale structuren	B* 9, 10, 14	B 2, 14

- A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden
- B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden
- C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E Geen indicatie

Referenties

1. McAllister HA Jr. Primary tumors of the heart and pericardium. *Pathol Annu* 1979;14:325–55.
2. Araoz PA, Mulvagh SL, Tazelaar HD, Julsrud PR, Breen JF. CT and MR imaging of benign primary cardiac neoplasms with echocardiographic correlation. *Radiographics* 2000;5:1303-19.
3. Pennell DJ, Sechtem UP, Higgins CB, Manning WJ, Pohost GM, Rademakers FE, van Rossum AC, Shaw LJ, Yucel EK. Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance (CMR): Consensus Panel report. *Eur Heart J* 2004;25:1940-65.
4. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging protocols, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance board of trustees task force on standardized protocols. *J Cardiovasc Magn Res* 2008;35:1-10.
5. Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 Expert Consensus Document on Cardiovascular Magnetic Resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation* 2010;121:2462–2508.
6. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, Kim RJ, von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Kramer CM, Pennell DJ, Plein S, Nagel E. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance board of trustees task force on standardized post processing. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013;15:1-35.
7. Friedrich MG, Larose E, Patton D, Dick A, Merchant N, Paterson I; Canadian Society for CMR. Canadian Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (CanSCMR) recommendations for cardiovascular magnetic resonance image analysis and reporting. *Can J Cardiol.* 2013;29:260-5.
8. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 appropriate use criteria for cardiac computed tomography. A report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:1864-94.
9. Buckley O, Madan R, Kwong R, Rybicki FJ, Hunsaker A. Cardiac Masses, Part 1: Imaging Strategies and Technical Considerations. *Am J Roentgenol* 2011;197: W837-41.
10. Buckley O, Madan R, Kwong R, Rybicki FJ, Hunsaker A. Cardiac masses, Part 2: Key imaging features for diagnosis and surgical planning. *Am J Roentgenol* 2011;197:W842-51.
11. Bauner KU, Sourbron S, Picciolo M, Schmitz C, Theisen D, Sandner TA, Reiser MF, Huber AM. MR first pass perfusion of benign and malignant cardiac tumours-significant differences and diagnostic accuracy. *Eur Radiol* 2012;22:73-82.
12. Hong YJ, Hur J, Kim YJ, Lee HJ, Nam JE, Kim HY, Choe KO, Choi BW. The usefulness of delayed contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance imaging in differentiating cardiac tumors from thrombi in stroke patients. *Int J Cardiovasc Imaging* 2011; Suppl 1:89-95.
13. Weinsaft JW, Kim RJ, Ross M et al. Contrast-enhanced anatomic imaging as compared to contrast-enhanced tissue characterization for detection of left ventricular thrombus. *J Am Coll Cardiol* 2009;2:969–79.
14. Van Beek EJ, Stolpen AH, Khanna G et al. CT and MRI of pericardial and cardiac neoplastic disease. *Cancer Imaging* 2007;7:19–26
15. O'Donnell DH, Abbara S, Chaithiraphan V, Yared K, Killeen RP, Cury RV, Dodd JD. Cardiac tumors: optimal cardiac MR sequences and spectrum of imaging appearances. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:377-387.
16. Maurer AH, Burshteyn M, Adler LP, Steiner RM. How to differentiate benign versus malignant cardiac and paracardiac 18F FDG uptake at oncologic PET/CT. *Radiographics* 2011;31:1287-305.
17. Rahbar K, Seifarth H, Schaeffers M, Stegger L, Hoffmeier A, Spieker T, Tiemann K, Maintz D, Scheld HH, Schober O, Weckesser M. Differentiation of malignant and benign cardiac tumors using 18F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2012;53:856-63.

Pericardiale aandoeningen

De belangrijkste pericardiale aandoeningen zijn pericardeffusie met/zonder tamponade, acute of chronische pericarditis met/zonder constrictie, en pericardiale tumoren.¹ Vanwege de hemodynamische consequenties die pericardiale aandoeningen kunnen hebben, is echocardiografie en Doppler-onderzoek als initieel screenend onderzoek, maar ook voor follow-up, zeer geschikt.¹ CT (zowel ECG-gated CT hart als een standaard CT thorax) en/of MRI zijn hierbij complementair aan echocardiografie.² De keuze voor CT of MRI hangt af van beschikbaarheid, snelheid van het onderzoek en lokale expertise.

Vanwege de hogere spatiale resolutie, het grotere 'field of view', en de onbeperkte mogelijkheden om elke thoracale doorsnede te kunnen maken, zijn CT en MRI beter geschikt dan echocardiografie om het pericard zelf te beoordelen op verdikking, de aanwezigheid van gelokaliseerde pericardvocht, inflammatie en de relatie van pericardiale aandoeningen (bijv. tumoren) met omliggende structuren. Met CT kunnen calcificaties van het pericard het beste gediagnosticeerd worden. Om de hemodynamische consequenties van pericardiale aandoeningen te beoordelen (bijv. constrictie of tamponade) is functioneel onderzoek noodzakelijk bij voorkeur met (real-time) cine-MRI. Ook CT kan hiervoor gebruikt worden maar met stralingsbelasting als nadeel, met name bij jonge patiënten.

Pericardiale tumoren zijn zeer zeldzaam.^{3,4} Voorbeelden van benigne aandoeningen zijn pericardiale cyste, divertikel, lipoom, benigne teratoom, en het fibroom. Voorbeelden van maligne pericardiale aandoeningen zijn primair het mesothelioom, sarcoom (angio-, lipo-, fibro-), en het maligne teratoom. Meestal betreft het echter metastasen van een extracardiale primaire tumor (mamma-, longcarcinoom, lymfoom, melanoom, urotheelcelcarcinoom). CT en CMR spelen een rol bij de karakterisatie (aantonen of uitsluiten van maligne kenmerken), lokalisatie, bepaling van de afmeting van de tumor en de relatie/ingroei met omliggende structuren, ook als voorbereiding op eventuele operabiliteit. FDG PET/CT kan worden gebruikt voor additionele karakterisatie, staging en monitoring van maligne pericardiale aandoeningen.

'Focused Assessment with Sonography in Trauma' (FAST), ofwel een target-echo, is het voorkeursoronderzoek bij verdenking op een pericard trauma.⁵ Hoewel de specificiteit voor het aantonen van pericardvocht hoog is (94-100%), is de sensitiviteit beperkt (28-100%).² Bij hemodynamisch stabiele patiënten kan een CT of MRI worden overwogen. Congenitale partiële afwezigheid of pericardiale aplasie en eventuele herniatie kunnen met CT of MRI gediagnosticeerd worden.^{2,6} Ook voor de planning van een pericardectomy (i.g.v. pericarditis constrictiva) zijn MRI en/of CT geschikt als pre- en post-operatieve evaluatie.^{7,8}

Twee soorten CT technieken moeten worden onderscheiden, routine CT thorax (met of zonder ECG-gating) en ECG-gated CT hart. Routine CT beelden tonen vaak met redelijke kwaliteit pericardiale afwijkingen aan, nog voordat een pericardiale afwijking vermoed wordt. Specifieke vraagstellingen kunnen bij voorkeur met ECG-gated CT onderzoek verricht worden omdat dit onderzoek een betere temporele en spatiële resolutie heeft. In het algemeen wordt intraveneus contrast gebruikt. In principe is functionele linker ventrikel (LV) en rechter ventrikel (RV) functie en tot op zekere hoogte perfusie en delayed enhancement ook met CT te evalueren. Radiatiedosis en ondersteuning door wetenschappelijke studies beperkt de toepassing hier nog van. CT heeft enkele voordelen t.o.v. CMR en echocardiografie: afbeelden van pericardiale verkalkingen, korte acquisitietijd, robuuste techniek, additionele nevenbevindingen/oorzaak van ziekte buiten het hart. Nadeel is de radiatiedosis. Breath-hold ECG-gated CT hart, met intraveneus contrast (indien mogelijk met dubbele injectie techniek om zowel LV als RV af te beelden), met standaard transversale, coronale en sagittale reconstructies. Bij voorkeur met dosis reducerende technieken.

Eventueel kan een niet ECG-gated standaard CT onderzoek gebruikt worden. Overweeg blanco acquisitie vooraf (bij verdenking gecompliceerde cyste), kamerfunctie acquisitie.

MRI is geschikt om het pericard af te beelden, weefsel te karakteriseren, ventrikelfunctie en flow te meten, alsmede ter bepaling van delayed enhancement van het pericard. Oriënterend MRI onderzoek: Breath-hold ECG-gated, black blood T1 gewogen fast spin echo (FSE) in transversale en korte as richting (het hart volledig afgebeeld), black blood T2 gewogen FSE opnamen met vet-suppressie (STIR of SPIR), cine SSFP in verschillende hartassen (2-, 3-, 4-kamer, korte as richting en indien mogelijk tevens transversaal (gehele myocard afbeelden van apex tot basis). Eventueel kan aanvullend nog een single slice mid-ventriculaire opname in korte as richting gemaakt tijdens volledige in- en uitademing (real time cine techniek). Dit om met grotere nauwkeurigheid de typische 'septal bounce' bij een constrictieve pericarditis te kunnen diagnosticeren (sensitiviteit 81%, specificiteit 100%). Delayed enhancement opnamen in transversale en korte as richting 10-15 minuten na contrasttoediening (0,2 mmol/kg Gadolinium i.v.), d.m.v. een inversion recovery gradient echo sequentie en instelling van een inversietijd die normaal myocard optimaal 'nult' [meestal 250-350 msec]. Eventueel kan bij verdenking op pericardiale massa tevens een early enhancement opname worden verricht.

Gezien de hemodynamische consequentie van veel pericardiale aandoeningen zal initieel screenend onderzoek d.m.v. echocardiografie en Dopplersonderzoek plaatsvinden, waarbij CT en/of MRI complementair zijn. De keuze voor CT en/of MRI hangt o.a. af van de primaire aandoening en leeftijd van de patiënt. Beide zijn geschikt om pericardverdikking, effusie en pericardiale tumoren en de relatie met omgeving aan te tonen. Hoewel CT beter geschikt is om calcificaties op te sporen, is MRI beter geschikt voor nadere weefseltypering (inflammatie, hemorrhagische effusie, trombus, etc.) en de hemodynamische consequenties van pericardiale aandoeningen te diagnosticeren. De keuze voor een bepaald onderzoek hangt bovendien af van lokale beschikbaarheid en expertise.

Pericardiale aandoeningen		MRI	CT
Asymptomatische	Risico stratificatie metabole aandoeningen	E 1,2,6	E 1,2,6
Effusie	Aantonen en follow-up na behandeling	B* 2,6	B 2,6
	Aantonen tamponade	B 2,6	B 2,6
Pericarditis	Tekenen van acute pericarditis	B* 1,2,6,12	B 1,2,6,12
	Constrictieve pericarditis	B* 9	B 9
Benigne tumoren	Pericardcyste, pericarddivertikel	B* 2,3	B 2,10
Maligne tumoren	Aantonen en karakteriseren primaire maligniteit	B* 3,4	B 4
	Metastatisch pericardaandoening	B 4	B 4
Trauma	Na trauma of acuut postoperatief	C 5	A 5
Congenitaal	Pericard aplasie	B* 11	B 11
Pericardectomie	Planning en follow-up	B* 8	B 7,9

A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden

B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden

C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen

D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten

E Geen indicatie

Referenties

1. Maisch B, Seferovic PM, Ristic AD, et al. Guidelines on the diagnosis and management of pericardial diseases executive summary; The Task force on the diagnosis and management of pericardial diseases of the European society of cardiology. *Eur Heart J*. 2004;25(7):587-610.
2. Rienmuller R, Groll R, Lipton MJ. CT and MR imaging of pericardial disease. *Radiol Clin North Am*. 2004;42(3):587-601, vi.
3. Syed IS, Feng D, Harris SR, et al. MR imaging of cardiac masses. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2008;16(2):137-64, vii.
4. Grebenc ML, Rosado de Christenson ML, Burke AP, Green CE, Galvin JR. Primary cardiac and pericardial neoplasms: radiologic-pathologic correlation. *Radiographics*. 2000;20(4):1073-103; quiz 110-1, 112.
5. Adams A, Fotiadis N, Chin JY, Sapsford W, Brohi K. A pictorial review of traumatic pericardial injuries. *Insights into imaging*. 2012;3(4):307-11.
6. Wang ZJ, Reddy GP, Gotway MB, Yeh BM, Hetts SW, Higgins CB. CT and MR imaging of pericardial disease. *Radiographics*. 2003;23 Spec No:S167-80.
7. Khan NU, Yonan N. Does preoperative computed tomography reduce the risks associated with re-do cardiac surgery? *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2009;9(1):119-23.
8. Zurick AO, Bolen MA, Kwon DH, et al. Pericardial delayed hyperenhancement with CMR imaging in patients with constrictive pericarditis undergoing surgical pericardiectomy: a case series with histopathological correlation. *JACC Cardiovasc Imaging*;4(11):1180-91.
9. Schwefer M, Aschenbach R, Heidemann J, Mey C, Lapp H. Constrictive pericarditis, still a diagnostic challenge: comprehensive review of clinical management. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;36(3):502-10.
10. Brunner DR, Whitley NO. A pericardial cyst with high CT numbers. *AJR Am J Roentgenol*. 1984;142(2):279-80.
11. Pernot C, Hoeffel JC, Frisch R, Henry M, Metz J, Brauer B. [Partial aplasia of the pericardium with hernia of the left atrium. Preoperative diagnosis and surgical correction]. *Fauchard*. 1970;1(8):614.
12. Bogaert J, Francone M. Pericardial Disease: Value of CT and MR Imaging. *Radiology* 2013; 267 (2): 340-356.

4. Klepafwijkingen

Ricardo Budde, Steven Chamuleau, Nils Planken, Hans-Marc Siebelink

De rol van MRI en CT bij hartklepaandoeningen is tot op heden relatief beperkt. De meeste studies zijn observationeel en vergelijken de “performance” van MRI, CT en echo onderling. De belangrijkste rol bij de diagnostiek en behandeling van klepvitia is weggelegd voor de echocardiografie. Echter, in specifieke gevallen, of indien er met echocardiografie onvoldoende informatie wordt verkregen, kunnen CT en MRI van additionele waarde zijn. Recente ontwikkelingen laten ook de bruikbaarheid zien van CT en MRI bij het plannen van cardiale valvulaire interventies, zoals percutane aortaklepimplantaties (TAVI) en percutane mitralisklepprocedures (Mitraclip®).

Met CT kunnen natieve- en kunsthartkleppen in verschillende hartfases worden afgebeeld en zo kan met planimetrie bijvoorbeeld de ernst van een stenose dan wel insufficiëntie worden vastgesteld. Ook andere aspecten van de klep zoals calcificatie, massa's en de relatie met omgevende structuren kunnen worden geanalyseerd.

Met MRI bestaat de mogelijkheid om naast anatomische informatie ook flowsnelheden te meten met velocity encoding (VE) technieken zodoende regurgiterende volumina te bepalen. Daarnaast kunnen met MRI ook belangrijke parameters worden bepaald die het effect van het kleplijden op het hart in kaart brengen (bv. linker ventrikel functie, dimensies en volumina). Dit geldt ook voor de congenitale cardiologie, waarbij rechterkamer functie vaak belangrijk is bij (gecombineerd) kleplijden.

Aortaklep

Centraal bij bepaling van de ernst van de aortastenose is de aortakleppoppervlakte (AVA). Met behulp van CT is de anatomische AVA vast te stellen en dit heeft een goede correlatie met echocardiografie. Er zijn kleine verschillen die te verklaren zijn doordat bij de echocardiografische AVA berekening met de *continuity equation* de linker ventrikel uitstroombaan (LVOT) dimensie minder nauwkeurig is door het gebruik van 2-dimensionale metingen.¹⁻⁴ Planimetrische AVA metingen met MRI komen overeen met echocardiografische AVA bepaling. Ook bepaling van het functionele AVA door middel van de *continuity equation* met MRI komt overeen met echocardiografie. Er worden ook kleine verschillen gerapporteerd die kunnen zijn ontstaan door minder nauwkeurige VTI bepaling met de MRI VE techniek en door meting van de LVOT dimensie met echocardiografie.^{5,6}

Met behulp van CT^{7,8} en MRI^{9,10} kan het anatomische regurgiterende oppervlak worden afgebeeld met een goede correlatie ten opzichte van echocardiografie. Door gebruik te maken van 2D en 3D VE MRI technieken kan het regurgiterend volume worden berekend, maar deze VE technieken vereisen wel post-processing. De positie van de VE meting vindt meestal plaats proximaal van de aortaklep, maar kan bij excentrische jets met 3D VE ook in de LVOT gedaan worden.¹⁰

Mitralisklep

De rol van CT voor evaluatie van een mitraalklepstenose is beperkt. Verdikking en calcificaties van de klepbladen kan met CT worden vastgesteld. De op CT gemeten openingsoppervlakte van de klep komt goed overeen met echocardiografie, evenals de stenose classificatie.¹¹

Ook op MRI kan de openingsoppervlakte van de mitraalklep gemeten worden met goede correlatie ten opzichte van echocardiografie en kan gebruikt worden om de mitraalklepstenose te graderen.^{12,13}

Mitralisklepinsufficiëntie kan op CT vermoed worden als er sprake is van een prolaps van de klepbladen, maar CT heeft verder geen rol in de diagnose. Wel kan met CT de uitgebreidheid van calcificaties in de annulus worden afgebeeld, wat van belang kan zijn voor het plaatsen van een annuloplastiek ring tijdens mitralisklepreparatie. MRI kan met behulp van VE techniek de regurgitatie fractie bepalen, maar dit is technisch lastig vanwege de bewegelijkheid van de mitralisklepannulus in het vlak van de meting. De kwantificatie van mitralisklep insufficiëntie is met name moeilijk bij excentrische MI-jets, omdat deze jets niet binnen het gescande vlak verlopen en daardoor vaak onderschatting geven van de ernst van MI. Een oplossing hiervoor is om het regurgiterend volume te meten met 3D VE techniek.¹⁴ Als alternatief kan het regurgiterend volume van de mitralisklep berekend worden door het slagvolume van de aorta af te trekken van het slagvolume van het linker ventrikel. Het verschil is dan het regurgiterende volume over de mitralisklep. Het gebruik van MRI wordt geadviseerd wanneer echo niet mogelijk is, of de parameters niet eensluidend zijn.¹⁵⁻¹⁷

Tricuspidalisklep

CT heeft geen rol bij tricuspidalisklep diagnostiek. Met MRI kan de flow en maximale snelheid over de tricuspidalisklep worden bepaald met VE technieken.¹⁴

Voor MRI zijn semi-kwantitatieve metingen voor de vaststelling van de ernst van een tricuspidalisklep insufficiëntie in ontwikkeling, maar deze behoren nog niet tot het standaard repertoire.¹⁸ In de congenitale cardiologie wordt MRI gebruikt om de morfologie van de tricuspidalisklep in relatie tot de RV te analyseren, bijvoorbeeld bij Morbus Ebstein.

Pulmonaalklep

Voor het gebruik van CT en MRI bij pulmonaalklepvitia zijn met name gegevens voorhanden over pulmonaalklepinsufficiëntie (PI) bepaling met MRI in patiënten met een tetralogie van Fallot. Hierbij wordt met name gebruik gemaakt van VE techniek voor berekening van het regurgiterend volume en bepaling van de rechter ventrikel volumina en ejectiefractie.²⁹

Selectie en voorbereiding TAVI

Bepaling van de annulusgrootte voor het plaatsen van de juiste maat prothese kan worden verricht met CT, MRI en ook met trans-oesofageale echocardiografie (TEE). Ook kunnen met CT en MRI de omliggende structuren, zoals de aortawortel en de coronair ostia worden afgebeeld. Voor het voorspellen van paravalvulaire lekkage op grond van annulus grootte en calcificaties wordt CT veelvuldig gebruikt²²⁻²⁵, maar dit is ook mogelijk met MRI.²⁶ Bij vergelijking van technieken onderling lijkt CT nauwkeuriger dan trans-thoracale echocardiografie (TTE) en 2D TEE.^{22,26} De bepaling van de ernst van regurgitatie na een TAVI procedure kan ook met MRI worden bepaald.²⁷

Selectie en voorbereiding percutane mitralisklepinterventie

Rondom een mitralisklepinterventie (percutane of operatieve reparatie of vervanging), is CT een veel gebruikte en adequate techniek om de anatomie en onderlinge relatie van de ramus circumflexus en sinus coronarius in kaart te brengen.²⁸⁻³⁰ Het in kaart brengen van de mitralisklepanatomie en functie gebeurt met name met echocardiografie. Het afbeelden van de mitralisklepanatomie en functie met CT en MRI is mogelijk, maar er zijn slechts beperkte data

voorhanden.^{12,30,31} MRI is rondom interventies met name te gebruiken voor het kwantificeren van het regurgiterend volume met VE technieken.

Post-interventie

Na het vervangen of repareren van een de hartkleppen is het vooral belangrijk om dysfunctionerende kleppen op te sporen en het anatomische substraat verantwoordelijk voor de disfunctie te identificeren. Met uitzondering van enkele kobalt chroom bevattende mechanoprothesen (o.a. Björk Shiley monoleaflet en Sorin monoleaflet) zijn mechanische klepprothesen met CT goed af te beelden zonder, of met slechts beperkte artefacten.³² De openings- en sluitingshoeken van de klepbladen van mechanoprothesen zijn met CT betrouwbaar te meten en makkelijk in de juiste richting uit te draaien.³³⁻³⁵ De klepbladen van bioprothesen zijn soms met CT zichtbaar met name wanneer deze verdikt of gecalcificeerd zijn. Bij kunstklepobstructie kan met CT extra informatie worden verkregen die helpt om trombus en pannusweefsel te onderscheiden.³⁶⁻³⁸ Aortakunstklep obstructie op basis van complexe obstruerende subvalvulaire anatomie kan met CT goed in beeld worden gebracht. Paravalvulaire lekkage (niet door endocarditis veroorzaakt) kan met CT worden aangetoond, maar CT is nog weinig sensitief. De waarde van MRI voor evaluatie van kunstkleppen is beperkt door de artefacten veroorzaakt door het frame van de mechanische- en biologische prothesen. Flow metingen zijn in het algemeen pas betrouwbaar enkele centimeters distaal van de klep.

Endocarditis

Bij verdenking op een kunstklependocarditis verschaft CT waardevolle en aan echocardiografie complementaire informatie.^{39,40} CT kan vegetaties op de prothese aantonen mits voldoende groot. CT is zeer goed in staat om mycotische aneurysmata rond de kunstklep te diagnosticeren en de uitbreiding te bepalen, met name in relatie tot de omliggende anatomische structuren.^{39,40} Abscessen in de aortawortel die nog niet doorgebroken zijn naar de bloedbaan kunnen met CT aangetoond worden, maar presenteren zich als een niet specifieke verdikking van de aortawortel.

Hartklepaandoeningen		MRI	CT	
Aortaklep	Stenotisch kleppoppervlak	B	B	1-6
	Regurgiterend oppervlak	B	B	7-9
	Regurgiterend volume	A		10
Mitralisklep	Stenotisch kleppoppervlak	B	B	11
	Stenotische drukgradiënt	C	E	13
	Ernst insufficiëntie	B		14-17
Tricuspidalisklep	Regurgiterend volume	C	E	14,18
Pulmonalisklep	Regurgiterend volume	B*	E	29
TAVI	Selectie en voorbereiding	C	A	22-26
	Peri-valvulaire lekkage	C	C	27
Mitralisklepinterventie	Transveneuze annuloplastiek	E	A	28-30
	Vorbereiding Mitraclip	C	C	28-30
Endocarditis	Verdenking endocarditis	E	C	39,40
Kunstkleppen	Verdenking obstructie	E	A	32-38
	Kunstklepinsufficiëntie	E	C	
	Verdenking endocarditis	E	B	39,40

A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden

- B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden
- C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E Geen indicatie

Referenties

1. Pflederer T, Achenbach S. Aortic valve stenosis: CT contributions to diagnosis and therapy. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2010;4(6):355-64.
2. Utsunomiya H, Yamamoto H, Horiguchi J, et al. Underestimation of aortic valve area in calcified aortic valve disease: effects of left ventricular outflow tract ellipticity. *Int J Cardiol.* 2012;157(3):347-53
3. Feuchtner GM, Müller S, Bonatti J, et al. Sixty-four slice CT evaluation of aortic stenosis using planimetry of the aortic valve area. *Am J Roentgenol.* 2007;189(1):197-203.
4. Li X, Tang L, Zhou L, et al. Aortic valves stenosis and regurgitation: assessment with dual source computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2009;25(6):591-600.
5. Pouleur AC, le Polain de Waroux JB, et al. Planimetric and continuity equation assessment of aortic valve area: Head to head comparison between cardiac magnetic resonance and echocardiography.
6. Garcia J, Kadem L, Larose E, et al. Comparison between cardiovascular magnetic resonance and transthoracic Doppler echocardiography for the estimation of effective orifice area in aortic stenosis. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2011;13:25.
7. Li Z, Huang L, Chen X, et al. Quantitative assessment of pure aortic valve regurgitation with dual-source CT. *Clin Radiol.* 2012;67(7):643-8.
8. Jassal DS, Shapiro MD, Neilan TG, et al. 64-slice multidetector computed tomography (MDCT) for detection of aortic regurgitation and quantification of severity. *Invest Radiol.* 2007;42(7):507-12
9. Goffinet C, Kersten V, Pouleur AC, et al. Comprehensive assessment of the severity and mechanism of aortic regurgitation using multidetector CT and MR. *Eur Radiol.* 2010;20(2):326-36.
10. Ewe SH, Delgado V, van der Geest R, et al. Accuracy of three-dimensional versus two-dimensional echocardiography for quantification of aortic regurgitation and validation by three-dimensional three-directional velocity-encoded magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol.* 2013 Aug 15;112(4):560-6.
11. Zhang XC, Yang ZG, Wang J. Quantitative assessment of right ventricular function and severity of pure mitral stenosis with 64-section multi-detector row CT: comparison with magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol.* 2012;156(1):108-10
12. Djavidani B, Debl K, Lenhart M, et al. Planimetry of mitral valve stenosis by magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45(12):2048–2053
13. Kim SS, Ko SM, Song MG, et al. Quantification of stenotic mitral valve area and diagnostic accuracy of mitral stenosis by dual-source computed tomography in patients with atrial fibrillation: comparison with cardiovascular magnetic resonance and transthoracic echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2014 Jul 11. [Epub ahead of print].
14. Roes SD, Hammer S, van der Geest RJ, et al. Flow assessment through four heart valves simultaneously using 3-dimensional 3-directional velocity-encoded magnetic resonance imaging with retrospective valve tracking in healthy volunteers and patients with valvular regurgitation. *Invest Radiol.* 2009;44(10):669-75.
15. Grayburn PA, Weissman NJ, Zamorano JL. Quantitation of mitral regurgitation. *Circulation.* 2012;126(16):2005-17
16. Hsiao A, Tariq U, Alley MT, et al. Inlet and outlet valve flow and regurgitant volume may be directly and reliably quantified with accelerated, volumetric phase-contrast MRI. *J Magn Reson Imaging.* 2014 Feb 8. Epub ahead of print.
17. Marsan NA, Westenberg JJ, Ypenburg C, et al. Quantification of functional mitral regurgitation by real-time 3D echocardiography: comparison with 3D velocity-encoded cardiac magnetic resonance. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2009 Nov;2(11):1245-52
18. Speiser U, Abas A, Henke C, et al. Time-resolved magnetic resonance imaging of contrast kinetics to identify severe tricuspid valve regurgitation. *Acta Cardiol.* 2013 Jun;68(3):247-53
19. Bhattacharyya S, Toumpanakis C, Burke M, et al. Features of carcinoid heart disease identified by 2- and 3-dimensional echocardiography and cardiac MRI. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2010;3(1):103-11.
20. Reddy ST, Shah M, Doyle M, Thompson DV, Williams RB, Yamrozik J, Biederman RW. Evaluation of cardiac valvular regurgitant lesions by cardiac MRI sequences: comparison of a four-valve semi-quantitative versus quantitative approach. *J Heart Valve Dis.* 2013;22(4):491-9.

21. Sandmann H, Pakkal M, Steeds R. Cardiovascular magnetic resonance imaging in the assessment of carcinoid heart disease. *Clin Radiol.* 2009;64(8):761-6
22. Jilaihawi H, Doctor N, Kashif M, et al. Aortic annular sizing for transcatheter aortic valve replacement using cross-sectional 3-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2013;61(9):908-16
23. Willson AB, Webb JG, Labounty TM, et al. 3-dimensional aortic annular assessment by multidetector computed tomography predicts moderate or severe paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: a multicenter retrospective analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2012;59(14):1287-94.
24. Schultz CJ, Tzikas A, Moelker A, Rossi A, Nuis RJ, Geleijnse MM, van Mieghem N, Krestin GP, de Feyter P, Serruys PW, et al. Correlates on MSCT of paravalvular aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation using the Medtronic CoreValve prosthesis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;78(3):446-55
25. Caudron J, Fares J, Hauville C, et al. Evaluation of multislice computed tomography early after transcatheter aortic valve implantation with the Edwards SAPIEN bioprosthesis. *Am J Cardiol.* 2011;108(6):873-81
26. Jabbour A, Ismail TF, Moat N, et al. Multimodality imaging in transcatheter aortic valve implantation and post-procedural aortic regurgitation: comparison among cardiovascular magnetic resonance, cardiac computed tomography, and echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2011;58(21):2165-73.
27. Sherif MA, Abdel-Wahab M, Beurich HW, et al. Haemodynamic evaluation of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation using cardiovascular magnetic resonance. *EuroIntervention.* 2011;7(1):57-63
28. Gopal A, Shah A, Shareghi S, et al. The role of cardiovascular computed tomographic angiography for coronary sinus mitral annuloplasty. *J Invasive Cardiol.* 2010;22(2):67-73.
29. Vliegen HW, van Straten A, de Roos A, et al. Magnetic resonance imaging to assess the hemodynamic effects of pulmonary valve replacement in adults late after repair of tetralogy of fallot. *Circulation.* 2002 Sep 24;106(13):1703-7.
30. Kahlert P, Plicht B, Jánosi RA, et al. The role of imaging in percutaneous mitral valve repair. *Herz.* 2009;34(6):458-67
31. Chan KM, Wage R, Symmonds K, et al. Towards comprehensive assessment of mitral regurgitation using cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2008;10:61
32. Habets J, Symersky P, van Herwerden LA, et al. Prosthetic heart valve assessment with multidetector-row ct: Imaging characteristics of 91 valves in 83 patients. *Eur Radiol.* 2011;21:1390-1396.
33. Suchá D, Symersky P, Vonken EJ, et al. Multidetector-row computed tomography allows accurate measurement of mechanical prosthetic heart valve leaflet closing angles compared with fluoroscopy. *J Comput Assist Tomogr.* 2014;38(3):451-6.
34. Symersky P, Budde RP, de Mol BA, et al. Comparison of multidetector-row computed tomography to echocardiography and fluoroscopy for evaluation of patients with mechanical prosthetic valve obstruction. *Am J Cardiol.* 2009;104:1128-1134.
35. Konen E, Goitein O, Feinberg MS, et al. The role of ecg-gated mdct in the evaluation of aortic and mitral mechanical valves: Initial experience. *Am J Roentgenol.* 2008;191:26-31.
36. Tanis W, Habets J, van den Brink RB, et al. Differentiation of thrombus from pannus as the cause of acquired mechanical prosthetic heart valve obstruction by non-invasive imaging: a review of the literature. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2014;15(2):119-29.
37. Tsai IC, Lin YK, Chang Y, et al. Correctness of multi-detector-row computed tomography for diagnosing mechanical prosthetic heart valve disorders using operative findings as a gold standard. *Eur Radiol.* 2009;19:857-867.
38. Teshima H, Hayashida N, Fukunaga S, et al. Usefulness of a multidetector-row computed tomography scanner for detecting pannus formation. *Ann Thorac Surg.* 2004;77:523-526
39. Habets J, Tanis W, van Herwerden LA, et al. Cardiac computed tomography angiography results in diagnostic and therapeutic change in prosthetic heart valve endocarditis. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2014;30:377-387.
40. Fagman E, Perrotta S, Bech-Hanssen O, et al. Ecg-gated computed tomography: A new role for patients with suspected aortic prosthetic valve endocarditis. *Eur Radiol.* 2012;22:2407-2414

5. Grote Vaten

Harrie van den Bosch, Luc Cozijnsen, Suzanne Gerretsen, Maarten Groenink, Tim Leiner

Acuut aortasyndroom

Alhoewel op basis van meta-analyse er geen noemenswaardige verschillen zijn tussen transoesofageale echografie (TEE), MRI en CT voor het aantonen of uitsluiten van aortadissectie¹, bestaat er uit pragmatisch oogpunt de voorkeur voor ECG-getriggerde CT bij de vraagstelling acuut aorta syndroom (AAS). Het AAS omvat naast de klassieke aortadissectie het intramuraal hematoom (IMH), het penetrerend atherosclerotisch ulcus (PAU), het beperkt intimaletsel, en traumatisch letsel aan de aorta. Bij vermoeden op dissectie dient altijd vooraf een CT scan zonder contrast gemaakt te worden ter uitsluiting van IMH.^{2,3} Het grote voordeel van CT is dat de proximale coronairen en de aortaklep ook goed in beeld gebracht kunnen worden, alsmede de boogvaten en andere aftakkingen en omliggende structuren. Daarnaast kan contrastlekkage bij (dreigende) ruptuur goed in beeld gebracht worden. Dit is minder goed mogelijk met TEE en MRI.

Postoperatieve aorta

CT is ook het onderzoek van eerste keuze in de postoperatieve aorta, zeker als er sprake is van status na stentplaatsing in het kader van TEVAR of coarctatio aortae. TEE en MRI zijn minder geschikt vanwege de artefacten geassocieerd met stentplaatsing, maar de ernst hiervan is afhankelijk van het stentmateriaal.^{2,3} De keuze wordt in de praktijk dus bepaald door de aard van de operatie en het gebruikte stentmateriaal (indien relevant), de leeftijd van de patiënt en andere klinische factoren.

Aneurysma van de aorta

Afhankelijk van de onderliggende ziekte kan gekozen worden voor ofwel MRI of CT. Beide methoden zijn equivalent voor het meten van de diameter van de aorta over zijn gehele traject. Bij zowel CT als MRI moet wel gebruik gemaakt worden van ECG-gating om bewegingsartefacten rond de aortawortel te voorkomen. In de praktijk gaat de voorkeur bij jonge mensen vaak uit naar MRI omdat er bij deze methode geen sprake is van stralingsbelasting.^{2,3}

Aortitis

¹⁸FDG-PET CT lijkt een nuttig onderzoek bij de verdenking op vasculitis (e.g. ziekte van Takayasu of reuscelarteritis) en bij verdenking op endoprothese ontsteking of kunstklep endocarditis⁴⁻⁶, alhoewel de correlatie tussen serologische inflammatieparameters en activiteit op ¹⁸FDG-PET CT nog niet duidelijk is.⁷ In ervaren handen kan middels native T2-gewogen en T1-gewogen contrast-enhanced MRI de vaatwandverdikking en inflammatie afgebeeld.^{8,9}

Coarctatio aortae

Zowel CT als MRI zijn uitstekend in staat om de ernst en locatie van de coarctatie aan te tonen. Praktisch gezien verdient MRI de voorkeur als techniek van eerste keuze omdat ook de hartfunctie direct kan worden gemeten en de mate van collaterale flow gekwantificeerd kan worden met behulp van MRI flowmetingen.^{2,3,12} Bij patiënten die reeds met een stent zijn behandeld kan afhankelijk van het stentmateriaal overwogen worden CT als modaliteit van eerste keuze toe te passen.

Bindweefselziekten

Bij verdenking op bindweefselziekten zoals morbus Marfan of Loeys-Dietz is MRI in principe de test van eerste voorkeur omdat het vaak jonge patiënten betreft.^{2,3} Daarnaast is het mogelijk om met MRI in de vroege fase vaatschade middels de pulse wave velocity en de distensibiliteit van de aorta te meten, evenals aortaklepfunctie en ventrikelfunctie.¹⁰ Voor wat betreft diametermetingen is MRI equivalent aan CT. Het is belangrijk diametermetingen van de aorta te standaardiseren bij deze patiënten omdat er vaak meerdere onderzoeken gemaakt moeten worden om de progressie van de ziekte in kaart te brengen (zie ook de paragraaf hieronder over diametermetingen).^{2,3,10,11,12}

Longembolie

Bij verdenking op acute of subacute longembolie en een Wells-score van meer dan 4 is CT met contrast het onderzoek van eerste keuze.¹³ CT is hoog-sensitief voor longembolieën tot op segmenteel niveau. Alhoewel op subsegmenteel niveau de sensitiviteit af neemt en inter-observer variatie toe neemt, is Een negatief CT onderzoek is een betrouwbare test om klinisch relevante longembolieën uit te sluiten. MRA is op dit moment niet de test van eerste keuze. Ventilatie/perfusie scintigrafie en directe angiografie blijven therapeutische opties, en hebben voor bepaalde patiënten praktische voordelen, maar zijn in de dagelijkse praktijk op de achtergrond gedrongen. Echocardiografie kan van therapiebepalende waarde (acute trombolysen) zijn bij verdenking op een longembolie als oorzaak van circulatoire shock.

Anatomie pulmonaalarterieën

Evaluatie van de pulmonaal-arterieën vindt voornamelijk plaats in het kader van kinderen en volwassenen met (verdenking op) aangeboren hartafwijkingen. Cardiale MRI is in principe het onderzoek van eerste keuze bij deze vraagstelling omdat ook klepfunctie en regurgitatiefractie bepaald kan worden in hetzelfde onderzoek, evenals RV dilatatie en volumina.¹²

Aorto-pulmonale collateraalarteriën (MAPCA)

Bij verdenking op aanwezigheid van significante aortopulmonale collateraalarteriën (MAPCA) heeft CT de voorkeur voor het in beeld brengen van de exacte locatie en grootte van de MAPCAs vanwege het hogere oplossend vermogen. Echter, met MRI kan het flowvolume gemeten of afgeleid worden. De keuze voor de test hangt in de praktijk af van welke informatie al beschikbaar is en andere klinische factoren zoals de exacte aard van het onderliggend corvitium, leeftijd van de patiënt en nierfunctie.¹

Grote venen en pulmonaalvenen

Afbeelding van pulmonaalvenen wordt steeds vaker uitgevoerd in het kader van de percutane behandelingen van atriumfibrilleren. Betrouwbare afbeelding van het linker atrium en de inmondende longevenen is essentieel voor een goede therapieplanning. Verder kunnen afwijkingen aan of variaties in het verloop van de vena cava superior of inferior belangrijke behandelconsequenties hebben bij bijvoorbeeld aanleg van een dialyseshunt, plaatsing van een ICD of pacemaker en maligniteiten in de thorax. Zowel CT als MRI zijn uitstekend in staat om de grootte en het verloop van de grote venen en longvenen af te beelden.^{12,14,15}

Thoracale vaten in kader van congenitale aandoeningen

Gezien de complexiteit van de afwijkingen en de wens/noodzaak om op non-invasieve manier informatie te verkrijgen over het flowvolume in de diverse vaatgebieden is MRI de modaliteit van

eerste voorkeur. Bij specifieke vraagstellingen of bij contra-indicaties voor MRI kan CT geïndiceerd zijn.¹²

Diameterbepalingen van de aorta

Het risico op aortadissectie en –ruptuur wordt deels voorspeld door de aneurysmagrootte, aortadiameter en -expansiesnelheid. Het is belangrijk patiënten met een dilatatie van de aorta ascendens al in een vroeg stadium te monitoren, om het juiste moment te kiezen voor chirurgisch ingrijpen. Seriële diametermetingen vereisen consistentie en nauwkeurigheid, omdat de uitlagen grote consequenties op gebied van prognose, (chirurgische) therapie en levensstijl (sport- of zwangerschapadvies).^{2,16,17} Geadviseerd wordt de diameter te meten loodrecht op de richting van de flow, bij voorkeur met gebruik van driedimensionale reconstructieve software.¹⁷ In vergelijking met cross sectionele metingen in het axiale vlak is de double oblique meting nauwkeuriger en laat significante verschillen zien met duidelijke impact op bijvoorbeeld de indicatie voor operatie.¹⁸ In de Amerikaanse Richtlijn is een diametertoename van 0.5 cm per jaar een indicatie voor eerder operatief ingrijpen.^{2,17} De Europese Richtlijn is in wat betreft de absolute diameter in een aantal punten behoudender, maar vindt dan een diametertoename van 0.2 cm/jaar (bij herhaalde metingen, gebruikmakend van dezelfde techniek en bevestigd met een andere techniek) een indicatie om eerder chirurgisch in te grijpen.¹⁸

Grote vaten	MRI	CT
Verdenking acuut aorta syndroom	C 1,2,3	A 1,2,3
Verdenking longembolie	C 13	A 13
Aorta en pulmonaalarteriën: anatomie, stenose, dilatatie	B* 2,3,10,11,12	B 2,3,12
Aneurysma aortae	B 2,3,20	B* 1,2,20
Postoperatieve aorta	B 1,2,3	B* 2,3
Aortitis	A 8,9	C 4,5,6,7
Aorto-pulmonale collateraalarteriën	B 2,3,12	B 2,3,12
Anatomie grote venen	B 12	B 12
Anatomie longvenen	B 14,15	B* 14,15

- A Betrouwbaar en superieur ten opzichte van andere beeldvormende methoden
- B Diagnostische nauwkeurigheid is vergelijkbaar met andere methoden (* betekent praktische voorkeur)
- C Gebruik is technisch haalbaar en gevalideerd; maar de indicatie is slechts van toepassing in specifieke gevallen
- D Indicatie onduidelijk, geen of conflicterende onderzoeksresultaten
- E Geen indicatie

Referenties

1. Shiga T, Wajima Z, Apfel CC, Inoue T, Ohe Y. Diagnostic accuracy of transesophageal echocardiography, helical computed tomography, and magnetic resonance imaging for suspected thoracic aortic dissection: systematic review and meta-analysis. Arch Intern Med. 2006 Jul 10;166(13):1350-6.
2. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, Bersin RM, Carr VF, Casey DE Jr, Eagle KA, Hermann LK, Isselbacher EM, Kazerooni EA, Kouchoukos NT, Lytle BW, Milewicz DM, Reich DL, Sen S, Shinn JA, Svensson LG, Williams DM; American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; American Association for Thoracic Surgery; American College of Radiology; American Stroke Association; Society of Cardiovascular Anesthesiologists; Society for Cardiovascular Angiography and Interventions; Society of Interventional Radiology; Society of Thoracic Surgeons; Society for Vascular Medicine. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association

- Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *J Am Coll Cardiol*. 2010 Apr 6;55(14):e27-e129.
3. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Bartolomeo RD, Eggebrecht H, Evangelista A, Falk V, Frank H, Gaemperli O, Grabenwöger M, Haverich A, Jung B, Manolis AJ, Meijboom F, Nienaber CA, Roffi M, Rousseau H, Sechtem U, Sirnes PA, Allmen RS, Vrints CJ; ESC Committee for Practice Guidelines (CPG); Document reviewers; Authors/Task Force members. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014 Nov 1;35(41):2873-926.
 4. Blockmans D, de Ceuninck L, Vanderschueren S, Knockaert D, Mortelmans L, Bobbaers H. Repetitive 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in giant cell arteritis: a prospective study of 35 patients. *Arthritis Rheum*. 2006 Feb 15;55(1):131-7.
 5. Walter MA, Melzer RA, Schindler C, Müller-Brand J, Tyndall A, Nitzsche EU. The value of [18F]FDG-PET in the diagnosis of large-vessel vasculitis and the assessment of activity and extent of disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2005 Jun;32(6):674-81.
 6. Besson FL, Parienti JJ, Bienvenu B, Prior JO, Costo S, Bouvard G, Agostini D. Diagnostic performance of ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in giant cell arteritis: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011 Sep;38(9):1764-72.
 7. Bley TA, Weiben O, Uhl M, Vaith P, Schmidt D, Warnatz K, Langer M. Assessment of the cranial involvement pattern of giant cell arteritis with 3T magnetic resonance imaging. *Arthritis Rheum*. 2005 Aug;52(8):2470-7.
 8. Treglia G, Mattoli MV, Leccisotti L, Ferraccioli G, Giordano A. Usefulness of whole-body fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in patients with large-vessel vasculitis: a systematic review. *Clin Rheumatol*. 2011 Oct;30(10):1265-75.
 9. Ammirati E, Moroni F, Pedrotti P, Scotti I, Magnoni M, Bozzolo EP, Rimoldi OE, Camici PG. Non-invasive imaging of vascular inflammation. *Front Immunol*. 2014 Aug 18;5:399.
 10. Dormand H, Mohiaddin RH. Cardiovascular magnetic resonance in Marfan syndrome. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013 Apr 15;15:33.
 11. Radke RM, Baumgartner H. Diagnosis and treatment of Marfan syndrome: an update. *Heart*. 2014 Sep;100(17):1382-91.
 12. Konstantinides SV, Torbicki A, Agnelli G, Danchin N, Fitzmaurice D, Galiè N, Gibbs JS, Huisman MV, Humbert M, Kucher N, Lang I, Lankeit M, Lekakis J, Maack C, Mayer E, Meneveau N, Perrier A, Pruszczyk P, Rasmussen LH, Schindler TH, Svitil P, Vonk Noordegraaf A, Zamorano JL, Zompatori M; Authors/Task Force Members. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism: The Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J*. 2014 Nov 14;35(43):3033-73.
 13. Stillman AE, Oudkerk M, Ackerman M, Becker CR, Buszman PE, de Feyter PJ, Hoffmann U, Keadey MT, Marano R, Lipton MJ, Raff GL, Reddy GP, Rees MR, Rubin GD, Schoepf UJ, Tarulli G, van Beek EJ, Wexler L, White CS. Use of multidetector computed tomography for the assessment of acute chest pain: a consensus statement of the North American Society of Cardiac Imaging and the European Society of Cardiac Radiology. *Eur Radiol*. 2007 Aug;17(8):2196-207.
 14. European Heart Rhythm Association; European Association for Cardio-Thoracic Surgery, Camm AJ, Kirchhof P, Lip GY, Schotten U, Savelieva I, Ernst S, Van Gelder IC, Al-Attar N, Hindricks G, Prendergast B, Heidbuchel H, Alfieri O, Angelini A, Atar D, Colonna P, De Caterina R, De Sutter J, Goette A, Gorenek B, Heldal M, Hohloser SH, Kolh P, Le Heuzey JY, Ponikowski P, Rutten FH; ESC Committee for Practice Guidelines. Guidelines for the management of atrial fibrillation: the Task Force for the Management of Atrial Fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC). *Europace*. 2010 Oct;12(10):1360-420.
 15. Fahlenkamp UL, Lembcke A, Roesler R, Schwenke C, Huppertz A, Streitparth F, Taupitz M, Hamm B, Wagner M. ECG-gated imaging of the left atrium and pulmonary veins: Intra-individual comparison of CTA and MRA. *Clin Radiol*. 2013 Oct;68(10):1059-64.
 16. Cozijnsen L, Braam RL, Waalewijn RA, Schepens MA, Loeys BL, van Oosterhout MF, Barge-Schaapveld DQ, Mulder BJ. What is new in dilatation of the ascending aorta? Review of current literature and practical advice for the cardiologist. *Circulation*. 2011 Mar 1;123(8):924-8.
 17. Svensson LG, Adams DH, Bonow RO, Kouchoukos NT, Miller DC, O'Gara PT, Shahian DM, Schaff HV, Akins CW, Bavaria JE, Blackstone EH, David TE, Desai ND, Dewey TM, D'Agostino RS, Gleason TG, Harrington KB, Kodali S, Kapadia S, Leon MB, Lima B, Lytle BW, Mack MJ, Reardon M, Reece TB, Reiss GR, Roselli EE, Smith CR, Thourani VH,

- Tuzcu EM, Webb J, Williams MR. Aortic valve and ascending aorta guidelines for management and quality measures. *Ann Thorac Surg*. 2013 Jun;95(6 Suppl):S1-66.
18. Mendoza DD, Kochar M, Devereux RB, Basson CT, Min JK, Holmes K, Dietz HC, Milewicz DM, LeMaire SA, Pyeritz RE, Bavaria JE, Maslen CL, Song H, Kroner BL, Eagle KA, Weinsaft JW; GenTAC (National Registry of Genetically Triggered Thoracic Aortic Aneurysms and Cardiovascular Conditions) Study Investigators. Impact of image analysis methodology on diagnostic and surgical classification of patients with thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg*. 2011 Sep;92(3):904-12.
 19. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Antunes MJ, Barón-Esquivias G, Baumgartner H, Borger MA, Carrel TP, De Bonis M, Evangelista A, Falk V, Lung B, Lancellotti P, Pierard L, Price S, Schäfers HJ, Schuler G, Stepinska J, Swedberg K, Takkenberg J, Von Oppell UO, Windecker S, Zamorano JL, Zembala M; ESC Committee for Practice Guidelines (CPG); Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC); European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): the Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur J Cardiothorac Surg*. 2012 Oct;42(4):S1-44.
 20. Boodhwani M, Andelfinger G, Leipsic J, Lindsay T, McMurtry MS, Therrien J, Siu SC; Canadian Cardiovascular Society. Canadian Cardiovascular Society position statement on the management of thoracic aortic disease. *Can J Cardiol*. 2014 Jun;30(6):577-89.