



Dansk Cardiologisk Selskab

www.cardio.dk

Hjerte-CT

- et holdningspapir fra Dansk Cardiologisk Selskab

DCS holdningspapir
2017 . Nr. 1

Hjerte-CT

– et holdningspapir fra Dansk Cardiologisk Selskab

DCS holdningspapir 2017 Nr. 1

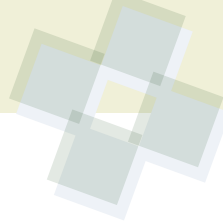
Udgivet maj 2017 af:
Dansk Cardiologisk Selskab

Dansk Cardiologisk Selskab
Vognmagergade 7, 3. sal
DK-1120 København K
dcs@dadlnet.dk

Copyright ©: Dansk Cardiologisk Selskab.

Indholdet af denne vejledning må anvendes, herunder kopieres i forsknings, undervisnings, planlægnings- og informationsøjemed. Dette forudsætter, at Dansk Cardiologisk Selskab nævnes som kilde, samt at der ikke i forbindelse med brugen tages afgifter eller gebyrer. Anden mangfoldiggørelse, herunder specielt anvendelse af vejledningens tekst og data i markedsføringsøjemed samt kopiering eller elektronisk mangfoldiggørelse, kræver forudgående skriftlig tilladelse fra selskabet.

Layout: Birger Gregers, Frederiksberg



Kommissorium

Hjerte-CT har undergået en betydelig udvikling de seneste år. Undersøgelsen er nu vidt udbredt i Danmark, og antallet af undersøgelser er fortsat stigende. Den primære indikation for Hjerte-CT er fortsat non-invasiv evaluering af potentiel sygdom i koronarkarrene, men der er tilkommet et stigende antal kliniske situationer, hvor Hjerte-CT kan bibringe vigtig information f.eks. forud for TAVI (Transcatheter Aortic Valve Implantation) og ablation af atrieflimren, ved mistanke om koronare anomalier mv.

Med henblik på at sikre en ensartet høj kvalitet i Danmark ønsker DCS en opdatering af holdningspapiret fra 2010. Holdningspapiret skal beskrive evidensbaserede indikationer, men også angive hvornår undersøgelsen ikke er egnet. Specielt vedrørende brug af Hjerte-CT i udredningen af stabil angina pectoris ønskes beskrivelse af 1) egnede patienter, 2) såvel anatomisk som mulighed for funktionel karakterisering af koronarkar foruden 3) de mulige konsekvenser af undersøgelsen. Krav til organisation herunder uddannelse, volumen, databaser og kvalitetssikring skal også beskrives.

Skrivegruppen vil blive sammensat med udgangspunkt i Imaging arbejdsgruppen og med en bred sammensætning både geografisk og fagligt. Formand Axel Diederichsen.

Skrivegruppe: Jawdat Abdulla, Morten Böttcher, Martina DeKnegt, Axel Diederichsen, Fredrik Folke, Erik Lerkevang Grove, Birgit Jurlander, Charlotte Kragelund, Tobias Köhl, Jess Lambrechtsen, Jesper Linde.

Hjerte-CT metode

Forudsætninger

Patienter skal kun undersøges, hvis resultatet har betydning for patientens fortsatte behandling og/eller prognose, og hvis man kan opnå tilstrækkelig god billedkvalitet. Således kræves både omhyggelig visitation og forberedelse af patienten.¹⁻⁴

Egnede patienter

Der er flere forskellige indikationer for Hjerte-CT, og samtidigt forskellige forudsætninger for undersøgelsen. Fælles er, at patienten skal kunne kooperere til undersøgelsen, særligt kunne følge instruks vedr. vejtrækning. I forhold til en standard koronar under-

søgelse er regelmæssig sinusrytme en forudsætning, og ved høj calciumscore (f.eks. Agatston score >400) kan alternativ test overvejes.⁴ For flere af de øvrige indikationer er der ingen absolutte kontraindikationer. Nedenstående liste er således vejledende.

Relative kontraindikationer:

- ▶ Nefropati (estimeret glomerulær filtrationshastighed [eGFR] <45 ml/min)
- ▶ Kontrastallergi
- ▶ Graviditet
- ▶ Klinisk ustabil (f. eks. lavt blodtryk, bronkospasme, inkompensatio cordis, o.a.)
- ▶ Overvægt (Body Mass Index [BMI] > 35 kg/m², bør vurderes individuelt)
- ▶ Arytmi
- ▶ Brug af Sildenafil

Præmedicinering

Vigtigheden af hjertefrekvenskontrol varierer med skannertype (bl.a. temporal opløsning) og indikation. Beta-blokker givet peroralt eller intravenøst er 1. valgs præparat til at sænke hjertefrekvensen. Ofte anvendes 50-150 mg metoprolol 12 til 24 time før undersøgelsen. Ved behov kan det gentages 1 time før undersøgelsen. Alternativt eller supplerende kan gives iv seloken i refrakte doser af 5 mg op til et maksimum af 50 mg.¹ Andre betablokkere samt Ivabradin (7,5-15 mg) kan også anvendes.¹

Nitroglycerin (NTG) anvendes rutinemæssigt som vasodilatator umiddelbart forud for Hjerte-CT mhp. at lette evalueringen af koronarkarrene. Der anvendes sublingual NTG spray eller resoribletter 400-800 mikrogram. Man bør være opmærksom på, at NTG kan nedsætte blodtrykket væsentligt, og blodtrykket bør derfor være målt forinden.¹⁻³

Kontrast

Risikoen for kontrastinduceret nefropati afhænger af nyrefunktion og anden comorbiditet som diabetes. Det er vigtigt at anvende mindst muligt kontrastdosis, som fortsat giver optimal billedkvalitet. Medikamentelle bivirkninger ved anvendelse af intravenøs kontrast ses hos < 1%.^{5;6} For intravenøs kontrastindgift anvendes en grænseværdi på eGFR <45 ml/min, men dette afhænger af indikationen for undersøgelsen. Væsketerapi er fortsat standard mhp. at forebygge kontrastinduceret nefropati.^{1;5;6}

Stråledosis

Den vigtigste strategi for at undgå unødige stråledosis er at undgå unødige undersøgelser. Ligeledes må man sikre sig, at udbyttet af undersøgelsen er væsentlig i forhold til stråledosis.⁷ I øvrigt anvendes princippet »as low as reasonably achievable« (ALARA). Stråledosis bør monitoreres med dose-length product (DLP) for at man kan sammenligne stråledoser.⁷

Skanningsprotokollen skal skræddersys til den enkelte patient og den kliniske problemstilling med videst mulig indskrænkning af skanfelt og skanlængde.⁷ Ofte anvendes prospektiv EKG-gated teknik, med mindst mulig strålevindue (opnås med stabil sinusrytme med puls 60-65 slag/min). Sjældent anvendes retrospektiv EKG-gated protokol (ved uregelmæssig rytme).⁷ Skanningsprotokoller med reduceret kilovolt (kV) vil reducere stråledosis men potentielt øge 'støj'. Hos ikke overvægtige voksne patienter anbefales 80-100 kV. Hos patienter > 120 kg og/eller BMI >30 kg/m² anbefales 120 kV eller højere.⁷ Endelig anvendes iterativ rekonstruktion mhp. yderligere dosisreduktion.

Coronary artery calcium (CAC) score

Med en simpel EKG-gated prospektiv non-kontrast CT skanning kan koronar aterosklerose erkendes. CT definitionen af koronar aterosklerose er pixler med et CT-tal ≥ 130 Hounsfield units (Agatston metoden), og med dedikerede Hjerte-CT programmer kan CAC detekteres semiautomatisk. Hjerte-CT radiografer kan oplæres til at måle CAC score.

Risikostratificering af asymptomatiske personer uden kendt hjertekarsygdom

CAC er en meget stærk prædikator for hjertekarsygdom, og CAC score kan indgå i en individuel risikovurdering (Ilb rekommandation).⁸ Imidlertid anbefales screening ikke indført i Danmark, da der ikke er påvist en positiv klinisk værdi.

Symptomatiske patienter

I udredningen af patienter med mistænkt stabil angina pectoris kan en non-kontrast Hjerte-CT skanning mhp CAC score fore-



tages forud for kontrastindgift,^{9;10} men selv patienter uden koronar aterosklerose (CAC score = 0) kan have koronare stenoser.⁴ CAC score kan derfor ikke stå alene i vurderingen af hverken patienter med mistænkt stabil angina pectoris eller patienter med mistænkt akut koronar syndrom.¹⁰⁻¹²

Hvis der er svære koronare kalkifikationer vil en efterfølgende Hjerter-CT have nedsat værdi. Dels fordi den positive prædiktive værdi falder, dels fordi patienter med svære kalkifikationer har større sandsynlighed for at have signifikante stenoser og dermed alligevel skal videresendes til yderligere udredning.^{1;4;10} Derfor vælger mange centre at undlade Hjerter-CT, hvis CAC score er meget høj (f.eks 400, 600 eller 1000), men der findes ingen etableret øvre grænseværdi.^{4;10}

Koronar Hjerter-CT

Indikation

Hjerter-CT er velegnet i udredningen af stabile angina pectoris patienter med lav til intermediær sandsynlighed for at have signifikante koronare stenoser.⁴ Hjerter-CT kan også anvendes til patienter med (1) akut opståede brystmerter efter akut myokardieinfarkt er afkræftet, (2) uafklaret hjertesvigt, og (3) forud for hjertekirurgi.² Undersøgelsen anbefales ikke til patienter med kendt iskæmisk hjertesygdom og ej heller som screeningstest af asymptomatiske.

Beskrivelse

Hjerter-CT er en morfologisk vurdering af koronararteriernes anatomi inklusiv vurdering af arterievæggen. Metoden er robust til udelukkelse af signifikante stenoser. Sensitiviteten og specificiteten afhænger af patienternes a priori sandsynlighed for koronarsygdom samt forberedelsen af patienterne. Ved beskrivelse af den koronare anatomi er det essentielt at definere undersøgelsens kvalitet og betydende artefakter som der evt. skal tages forbehold for i beskrivelsens konklusion.⁹ I beskrivelsen af koronartræet bruges 18 segment modellen.

Normal undersøgelse: Metodens styrke er, at iskæmisk hjertesygdom kan udelukkes ved normale forhold på grund af metodens høje negative prædiktive værdi.

Abnorm undersøgelse: Fundene fordeler sig i 2 kategorier:

1. Metoden giver mulighed for beskrivelse af plaques i karvæggen. Forandringerne kan differentieres som kalkificerede, delvist kalkificerede og ikke-kalkificerede.⁹ Dette kan have prognostisk betydning, ændre patientens risikoscore og/eller eventuelt medføre forebyggende tiltag.¹³
2. Ved fund af stenose kan en rutinemæssig procentuel gradering af denne ikke anbefales på grund af for stor usikkerhed ved evalueringen. Stenosegradering kan derfor i stedet inddeles i let koronar sygdom (ikke funktionel betydende), moderat (svarer til 50-70% stenose og kan være funktionelt betydende) eller svær stenose (formentlig funktionelt betydende).⁹

Klinisk konsekvens af koronar Hjerter-CT

Rapportering af Hjerter-CT fund bør indeholde beskrivelse af tilstedeværelse eller fravær af aterosklerose og i tilfælde af obstruerende koronarsygdom graderes denne ud fra den maximale stenosegrad. For at sikre optimal kommunikation mellem henvise og beskrivende læge bør konklusionen i tillæg til den anatomiske beskrivelse også indeholde forslag til den kliniske konsekvens af undersøgelsen. Tabel 1 er baseret på retningslinjer udgivet af Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) og giver forslag til den videre kliniske håndtering

af patienten ud fra de anatomiske fund hos patienter med stabil angina pectoris.¹ Disse forslag skal dog altid af den behandlingsansvarlige læge tolkes i lyset af det fulde kliniske billede.

Nye muligheder med Hjerter-CT

Hjerter-CT har høj negativ prædiktiv værdi, men mindre stærk positiv prædiktiv værdi. Dette skyldes dels, at Hjerter-CT kan overstimere stenoser ved større kalk-plaques og dels at den blotte anatomiske vurdering (luminografien) af en intermediærstenose ikke er tilstrækkelig til at forudsige dens hæmodynamiske (funktionelle) betydning. Studier har vist, at den hæmodynamiske betydning af en koronarstenose er nødvendig for at udpege den korrekte behandling og forudsige langtidsprognosen for patienterne.¹⁴⁻¹⁶

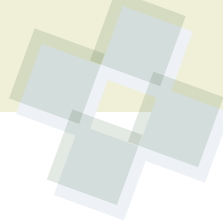
Antallet af falsk positive undersøgelser kan nedbringes ved at kombinere luminografisk uafklaret Hjerter-CT med en vurdering af den koronare hæmodynamik. Dette kan ske ved at undersøge yderligere med en traditionel funktionstest, såsom myokardieskintigrafi, positron emission tomografi (PET) eller Hjerter-MR (Magnetisk resonans scanning),^{17;18} men som et nyt alternativ

Tabel 1: Rapportering af anbefalinger til patienthåndtering ud fra stenosegrad hos patienter med stabil angina pectoris

Stenose grad	Fortolkning	Konsekvens
0	Koronarsygdom udelukket	Overvej ikke-aterosklerotiske årsager til brystmerter
1-49%	Let koronarsygdom	Overvej ikke-aterosklerotiske årsager til brystmerter Overvej modificering af risikofaktorer
50-69%	Moderat stenose	Symptom-guidet anti-iskæmisk medicinsk behandling samt risikomodificering ⁴ Overvej funktionstest
70-99% eller LM** >50%	Svær stenose	Symptom-guidet anti-iskæmisk medicinsk behandling samt risikomodificering ⁴ Overvej funktionstest eller KAG*. Ved LM** stenose >50% eller 3-kars sygdom anbefales KAG*
100%	Total obstruktion	Symptom-guidet anti-iskæmisk medicinsk behandling samt risikomodificering ⁴ Overvej KAG* og/eller funktionstest
Inkonklusiv test	Fortsat uafklaret	Yderligere evaluering er nødvendig

* KAG – Koronarangiografi

** LM – Venstre hovedstamme (Left main)



udvikles aktuelt CT baserede teknikker til at estimere den hæmodynamiske betydning af en stenose, herunder FFR-CT og CT-perfusion. Ingen af disse nye CT baserede metoder er endnu i guidelines, men beskrives kort nedenfor.

FFR-CT

Invasiv fraktionel flowreserve (FFR) angiver trykfaldet over en stenose og kan måles som ratioen af det post-stenotiske, intrakoronare tryk i forhold til trykket før stenosen ved stabil hyperæmi. Det er muligt at beregne en non-invasiv FFR på basis af Hjerter-CT vha. billedbaseret matematisk modellering og hydrodynamiske principper (computational fluid dynamics).¹⁹

Hjerter-CT med FFR-CT muliggør vurdering af de anatomiske forhold i kombination med noninvasiv funktionel vurdering af specifikke koronarstenoser. Herved kan den hæmodynamiske betydning af en given stenose estimeres. Det er i flere mindre studier vist, at tillæg af FFR-CT til Hjerter-CT blandt patienter med intermediære stenoser med fordel kan anvendes ved stillingtagen til KAG vs. medicinsk behandling, idet specificiteten og den positive prædiktive værdi for diagnosticering af hæmodynamisk betydende koronarstenoser forbedres.²⁰⁻²⁴

I forhold til rutine Hjerter-CT kræves ikke supplerende kontrastforbrug, øget stråledosis eller post-processing, og FFR-CT kan udføres trods høj Agatston kalkscore. FFR-CT kan ikke udføres ved inkonklusiv Hjerter-CT billedkvalitet og er ikke valideret hos patienter med akut koronar syndrom, stents eller tidligere koronar bypass operation.

CT-perfusion

Hjerter-CT perfusion hviler på studier, der viser, at forøgelsen af attenuationsdensiteten i myokardiet, der optræder efter indgivelse af iodkontrast, korrelerer med perfusion. CT-perfusion består af en hvile og en stressoptagelse. *Statisk CT-perfusion* er mest udbredt, hvor der efter indgift af iodkontrast optages et enkelt billede under diastole i hvile og herefter under farmakologisk stress (med Adenosin eller Regadenoson). Billederne gennemses for relative perfusionsdefekter i myokardiet med henblik på at vurdere størrelse og reversibilitet. CT-perfusion er vist at forbedre den diagnostiske værdi i forhold til Hjerter-CT alene,²⁵ og er sikker og re-

TAVI (Transcatheter aortic valve implantation)

CT bruges til at vurdere adgangsforhold (via a. femoralis, a. subclavia, transapikalt eller direkte gennem aorta via minitorakotomi) og kan bruges til pålideligt at identificere risikofaktorer til vaskulære komplikationer, som ofte er forårsaget af den relativt store devicestørrelse ift. minimum lumendiameter, aterosklerose med kalcifikation samt karsnoring.²⁷

Korrekt valg af stentstørrelse afhænger af en akkurat måling af aortaannulus dimensioner, og CT er egnet hertil. En for lille protese kan føre til embolidannelse og øget frekvens af paravalvulær lækage.²⁸ Hvorimod en for stor protese kan føre til ruptur. Øvrige vigtige informationer er bl.a. koronarostium-aortaannulus-afstand, aortacusplængde, bredden af sinus, den sinotubulære overgang og aorta ascendens dimensioner. Disse mål er vigtige for at undgå koronarokklusion og skade på aortaroden.²⁹

Informationer om aterosklerose i aorta ascendens og arcus aorta, aortaklapstruktur og graden af aortaklapkalcificering samt optimale fluoroskopi projektiionsvinkler kan ligeledes opnås ved CT.^{30;31}

Ablation for atrieflimren

Hjerter-CT mht visualisering af venstre atrium og lungeveneanatomi er vigtig forud for ablation af atrieflimren.³² Derudover kan Hjerter-CT bruges til at be-/afkræfte tromber i venstre aurikel.³³ Peri-proceduralt har integration af Hjerter-CT med ablationssoftware vist sig til at være nyttigt mht. reduktion i proceduretid og peri-procedurale komplikationer.³⁴ Post-proceduralt kan Hjerter-CT bruges til at vurdere pulmonal venestnose.³⁵

Venstre aurikellukning

I forbindelse med devicelukning af venstre aurikel er Hjerter-CT egnet mht. devicestørrelse, devicetype og fremførelsesvej. Derudover bliver Hjerter-CT i tiltagende grad brugt til post-procedural evaluering af device-relaterede komplikationer som, f.eks. para-device lækage og trombose.³⁴

Nyretransplantation

Patienter kan forud for nyretransplantation med fordel få foretaget Hjerter-CT dels for at udelukke koronarsygdom og dels fordi man samtidig kan fremstille iliacakar mhp vurdering af målkar for nyretransplantation.

Kongenit hjertesygdom

Koronaranomalier er relativt sjældne og oftest benigne.³⁶ Eksakt karakterisering af det anatomiske forløb er afgørende for vurdering af anomaliens hæmodynamiske betydning. Hjerter-CT er i denne sammenhæng andre modaliteter (KAG eller MR angiografi) overlegen pga. den høje opløselighed, korte skanningstid og præcise 3-dimensionelle billedannelse inkl. kortlægning af anatomisk relation til nabostrukturer. Hjerter-CT er derfor 1. valg ved udredning og kontrol af kendte koronare anomalier.³⁷

Uafklaret kardial anatomi

Hjerteklapsygdomme: Transthorakal og transøsofageal ekkokardiografi (TTE/TEE) er førstevalg ved primær vurdering af klapsygdomme. Ved aortaklapstenose kan Hjerter-CT dog bidrage med vurdering af aortaklappens morfologi, kvantificering af stenosegraden, præcis udmåling af left ventricle outflow tract samt estimere omfanget af kalkbyrden ved low-gradient aortaklapstenose. Hjerter-CT har også en nyttig funktion ved at visualisere tromber ved klapprotoser, og ved endokarditis kan Hjerter-CT bidrage til vurdering af paravalvulære forhold, ledsagende abscesser og aneurysmedannelse.³⁸

Kardiomyopati: TTE og MR er de primære modaliteter for vurdering af kardiomyopati. Hjerter-CT kan dog bidrage med udmåling af septumtykkelse, påvisning af underliggende koronarsygdom og identificering af myokardie-bridging ved eksempelvis hypertrofisk kardiomyopati. Ved mistanke om non-compaction kardiomyopati kan Hjerter-CT skelne det normale fra det non-kompakte myokardievæv. Som alternativ metode kan Hjerter-CT benyttes til måling af hjertekamrenes dimensioner og kvantificering af venstre ventrikels udrykningsfraktion,³⁹ og ved mistanke om arytymogen højre ventrikel kardiomyopati kan Hjerter-CT anvendes til visualisering af højre ventrikels anatomi.

Perikardiesygdomme: Hjerter-CT er brugbart til diagnosticering af sygdomme i perikardiet, idet væskeansamlinger, fedt og forkalkninger fremstår tydeligt. Hjerter-CT bruges derfor undertiden i diagnostik ved akut og kronisk perikarditis, konstriktiv perikarditis, perikardie-effusion og cyster.⁴⁰

Hjerter-CT ved implantation af biventrikulær pacemaker: Hjerter-CT kan anvendes som alternativ metode til retrograd venografi for at visualisere venesystemets anatomi før anlæggelse af en venstresidig ledning gennem sinus coronarius.

Tabel 2: Andre indikationer for Hjerter-CT

producerbar, men kræver grundig oplæring pga. artefakter.²⁶

Dynamisk CT-perfusion er en anden metode, hvor kontrastgennemstrømningen i myokardiet og i aorta optages i serielle (dy-

namiske) målinger under first-pass af kontraststof. Teknikken er interessant, men den usikre kliniske anvendelighed og den relativt store mængde røntgenstråling gør at teknikken ikke anbefales til klinisk brug.



Andre indikationer for Hjerte-CT

Selvom den hyppigste indikation for brug af Hjerte-CT fortsat er ureddning for koronar-sygdom bruges Hjerte-CT i dag i et stigende antal kliniske situationer. Disse er beskrevet i Tabel 2.

Organisation

Den overordnede klinisk ansvarlige for Hjerte-CT skal være speciallæge i kardiologi. Den overordnet ansvarlige for strålehygiejne, skal være godkendt af Statens Institut for Strålehygiejne og er ifølge Røntgenbekendtgørelsen (bekendtgørelse 975/1998) hospitalets fysiker. Såfremt skanneren er placeret på en kardiologisk afdeling kan ansvaret på en kardiologisk afdeling og CT teknologi varetages af kardiologisk speciallæge med relevant uddannelse heri.

Uddannelse

Hjerte-CT funktionen varetages i kardiologisk regi og alle kardiologer, der er involveret i Hjerte-CT, skal som minimum have en SCCT uddannelse svarende til niveau 2 jfr. tidligere mini MTV fra en arbejdsgruppe under Sundhedsstyrelsen. De overordnede guidelines fra SCCT for beskrivelse af Hjerte-CT undersøgelsen skal følges.¹

Volumen

For at opretholde et acceptabelt erfaringsgrundlag skal alle Hjerte-CT centre have et volumen på mindst 250 undersøgelser pr. år. Den enkelte kardiolog bør som minimum forestå 100 undersøgelser pr. år. Specielt for centre med årligt volumen under 100 scanninger pr. år vil et samarbejde med et højvolumen center i mange tilfælde være formålstjenligt.

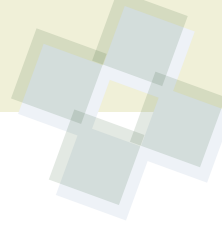
Databaseindberetning og kvalitetssikring

Alle kliniske Hjerte-CT undersøgelser skal indberettes til den regionale database (VDH eller Webpats) samt til Dansk Hjerteregister (Sundhedsplatformen). I et samarbejde med Sundhedsstyrelsen er der tidligere fastlagt følgende kvalitetsindikatorer: 1) stråledosis (gennemsnit og andel af undersøgelser > 700 DLP), 2) komplikationer, 3) andel af ikke-evaluerbare undersøgelser, 4) andel af undersøgelser med ekstrakardielle beskri-

velse, 5) andel af patienter viderehenvist til funktionsundersøgelse, 5) andel af patienter viderehenvist til invasiv undersøgelse, 6) revaskulariseringsgrad for viderehenviste og 7) forekomst af død/MI i den afsluttede gruppe.

Referenceliste

- 1 Abbara S, Blanke P, Maroules CD et al. SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: A report of the society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee: Endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI). *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2016.
- 2 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;56:1864-1894.
- 3 Perrone-Filardi P, Achenbach S, Mohlenkamp S et al. Cardiac computed tomography and myocardial perfusion scintigraphy for risk stratification in asymptomatic individuals without known cardiovascular disease: a position statement of the Working Group on Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2011;32:1986-93, 1993a, 1993b.
- 4 Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2013;34:2949-3003.
- 5 Stacul F, van der Molen AJ, Reimer P et al. Contrast induced nephropathy: updated ESUR Contrast Media Safety Committee guidelines. *Eur Radiol* 2011;21:2527-2541.
- 6 Geenen RW, Kingma HJ, van der Molen AJ. Contrast-induced nephropathy: pharmacology, pathophysiology and prevention. *Insights Imaging* 2013;4:811-820.
- 7 Halliburton SS, Abbara S, Chen MY et al. SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2011;5:198-224.
- 8 Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S et al. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J* 2016;37:2315-2381.
- 9 Leipsic J, Abbara S, Achenbach S et al. SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2014;8:342-358.
- 10 Raff GL, Chinnaiyan KM, Cury RC et al. SCCT guidelines on the use of coronary computed tomographic angiography for patients presenting with acute chest pain to the emergency department: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2014;8:254-271.
- 11 Wolk MJ, Bailey SR, Doherty JU et al. ACCF/AHA/ASE/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2013 multimodality appropriate use criteria for the detection and risk assessment of stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, American Heart Association, American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Failure Society of America, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol* 2014;63:380-406.
- 12 Rybicki FJ, Udelson JE, Peacock WF et al. 2015 ACR/ACC/AHA/AATS/ACEP/ASNC/NASCI/SAEM/SCCT/SCMR/SCPC/SNMMI/STR/STS Appropriate Utilization of Cardiovascular Imaging in Emergency Department Patients With Chest Pain: A Joint Document of the American College of Radiology Appropriateness Criteria Committee and the American College of Cardiology Appropriate Use Criteria Task Force. *J Am Coll Cardiol* 2016;67:853-879.
- 13 Al-Mallah MH, Qureshi W, Lin FY et al. Does coronary CT angiography improve risk stratification over coronary calcium scoring in symptomatic patients with suspected coronary artery disease? Results from the prospective multicenter international CONFIRM registry. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;15:267-274.
- 14 Shaw LJ, Berman DS, Maron DJ et al. Optimal medical therapy with or without percutane-



- ous coronary intervention to reduce ischemic burden: results from the Clinical Outcomes Utilizing Revascularization and Aggressive Drug Evaluation (COURAGE) trial nuclear substudy. *Circulation* 2008;117:1283-1291.
- 15 Boden WE, O'Rourke RA, Teo KK et al. Optimal medical therapy with or without PCI for stable coronary disease. *N Engl J Med* 2007;356:1503-1516.
- 16 Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS. Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation* 2003;107:2900-2907.
- 17 Rispler S, Keidar Z, Ghersin E et al. Integrated single-photon emission computed tomography and computed tomography coronary angiography for the assessment of hemodynamically significant coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:1059-1067.
- 18 Di Carli MF, Dorbala S, Hachamovitch R. Integrated cardiac PET-CT for the diagnosis and management of CAD. *J Nucl Cardiol* 2006;13:139-144.
- 19 Kim HJ, Vignon-Clementel IE, Coogan JS, Figueroa CA, Jansen KE, Taylor CA. Patient-specific modeling of blood flow and pressure in human coronary arteries. *Ann Biomed Eng* 2010;38:3195-3209.
- 20 Koo BK, Erglis A, Doh JH et al. Diagnosis of ischemia-causing coronary stenoses by noninvasive fractional flow reserve computed from coronary computed tomographic angiograms. Results from the prospective multicenter DISCOVER-FLOW (Diagnosis of Ischemia-Causing Stenoses Obtained Via Noninvasive Fractional Flow Reserve) study. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:1989-1997.
- 21 Min JK, Leipsic J, Pencina MJ et al. Diagnostic accuracy of fractional flow reserve from anatomic CT angiography. *JAMA* 2012;308:1237-1245.
- 22 Norgaard BL, Leipsic J, Gaur S et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (Analysis of Coronary Blood Flow Using CT Angiography: Next Steps). *J Am Coll Cardiol* 2014;63:1145-1155.
- 23 Norgaard BL, Hjort J, Gaur S et al. Clinical Use of Coronary CTA-Derived FFR for Decision-Making in Stable CAD. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016.
- 24 Douglas PS, Pontone G, Hlatky MA et al. Clinical outcomes of fractional flow reserve by computed tomographic angiography-guided diagnostic strategies vs. usual care in patients with suspected coronary artery disease: the prospective longitudinal trial of FFR(CT): outcome and resource impacts study. *Eur Heart J* 2015;36:3359-3367.
- 25 Rochitte CE, George RT, Chen MY et al. Computed tomography angiography and perfusion to assess coronary artery stenosis causing perfusion defects by single photon emission computed tomography: the CORE320 study. *Eur Heart J* 2014;35:1120-1130.
- 26 Linde JJ, Hove JD, Kuhl JT et al. Clinical feasibility of myocardial computed tomographic perfusion imaging in patients with recent acute-onset chest pain. *Int J Cardiol* 2014;174:195-197.
- 27 Toggweiler S, Gurvitch R, Leipsic J et al. Percutaneous aortic valve replacement: vascular outcomes with a fully percutaneous procedure. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:113-118.
- 28 Athappan G, Patvardhan E, Tuzcu EM et al. Incidence, predictors, and outcomes of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: meta-analysis and systematic review of literature. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:1585-1595.
- 29 Masson JB, Kovac J, Schuler G et al. Transcatheter aortic valve implantation: review of the nature, management, and avoidance of procedural complications. *JACC Cardiovasc Interv* 2009;2:811-820.
- 30 Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Schoenhagen P, Min JK, Leipsic JA. SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2012;6:366-380.
- 31 Binder RK, Leipsic J, Wood D et al. Prediction of optimal deployment projection for transcatheter aortic valve replacement: angiographic 3-dimensional reconstruction of the aortic root versus multidetector computed tomography. *Circ Cardiovasc Interv* 2012;5:247-252.
- 32 Kiuchi K, Yoshida A, Takei A et al. Topographic variability of the left atrium and pulmonary veins assessed by 3D-CT predicts the recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation. *J Arrhythm* 2015;31:286-292.
- 33 Lazoura O, Ismail TF, Pavitt C et al. A low-dose, dual-phase cardiovascular CT protocol to assess left atrial appendage anatomy and exclude thrombus prior to left atrial intervention. *Int J Cardiovasc Imaging* 2016;32:347-354.
- 34 Donal E, Lip GY, Galderisi M et al. EACVI/EHRA Expert Consensus Document on the role of multi-modality imaging for the evaluation of patients with atrial fibrillation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:355-383.
- 35 Niinuma H, George RT, Arbab-Zadeh A, Lima JA, Henrikson CA. Imaging of pulmonary veins during catheter ablation for atrial fibrillation: the role of multi-slice computed tomography. *Europace* 2008;10 Suppl 3:iii14-iii21.
- 36 Abdulla J, Kofoed KF, Diederichsen AC, Vejlstrop N, Andersen NH, Nielsen-Kudsk JE et al. Kongenitte koronararterie anomalier hos voksne. 2013. DCS.
- 37 Warnes CA, Williams RG, Bashore TM et al. ACC/AHA 2008 guidelines for the management of adults with congenital heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines on the Management of Adults With Congenital Heart Disease). Developed in Collaboration With the American Society of Echocardiography, Heart Rhythm Society, International Society for Adult Congenital Heart Disease, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:e143-e263.
- 38 Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012). *Eur Heart J* 2012;33:2451-2496.
- 39 Fuchs A, Mejdahl MR, Kuhl JT et al. Normal values of left ventricular mass and cardiac chamber volumes assessed by 320-detector computed tomography angiography in the Copenhagen General Population Study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:1009-1017.
- 40 Cosyns B, Plein S, Nihoyanopoulos P et al. European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) position paper: Multimodality imaging in pericardial disease. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16:12-31.