

# SKIKTRÖNTGEN UNDERSÖKER HJÄRTAT PÅ NÅGRA SEKUNDER

DT-tekniken utvecklas snabbt och oavbrutet: från spiral-DT för 20 år sedan till introduktionen av 64-kanals-DT för några år sedan. Detta gör det svårt att validera nyttan. I dagsläget bör DT användas enbart inom ramen för kontrollerade kliniska studier.



**ANDERS S PERSSON**, överläkare, Linköping  
Centrum för medicinsk bildvetenskap och visualisering,  
Universitetssjukhuset i  
[anders.persson@cmiv.liu.se](mailto:anders.persson@cmiv.liu.se)

Hjärt- och kranskärlssjukdomar är sammantagna den ledande dödsorsaken i både Europa och USA, med ca 600 000 döda per år enbart i Europa. Omkring hälften av alla dödsfall i plötslig hjärtdöd sker utan föregående symtom. Selektiv kranskärlsröntgen är i dag den enda kliniska metod som kan avbilda och kvantifiera kranskärlstenoser in vivo med tillräckligt hög säkerhet. Undersökningen ger tillgång till bilder med mycket hög spatial upplösning (50 linjepar per cm) och ger en bra anatomisk översikt av kranskärlen. Nackdelarna är att undersökningen är invasiv och relativt resurskrävande. En fördel vore om man kunde finna en alternativ undersökningsform som är enkel, säker och icke-invasiv.

Datortomografi (DT) är en teknik under konstant snabb utveckling, och var 12:e till var 16:e månad introduceras ny DT-teknik, vilket förväntas fortsätta under överskådlig tidsrymd. DT-undersökning av hjärtat är det applikationsområde som driver på denna utveckling. Leverantörerna fokuserar på att möta de stora krav som hjärtavbildning ställer. Det krävs hög tidsupplösning, tunna snitt och låg stråldos. Några av de framtida innovationerna inom området är förutsägbara, t ex snabbare skanning och ny detektorteknik. Detta kommer sannolikt att dramatiskt förbättra avbildningskvaliteten och ge lägre stråldoser. Andra innovationer är svåra att förutsäga; man vet dock att utvecklingen sannolikt kommer att accelerera inom hjärt-DT-området. Detta ställer till problem när det gäller validering av metodens kliniska nytta. När en studie blir publicerad finns redan nyare teknik att tillgå. Detta kan leda till att införandet av tekniken styrs av annat än vetenskap och beprövad erfarenhet.

## Utvecklingen 1989 till 2007

Utvecklingen inom DT-området under de senaste 20 åren har varit mycket snabb. Spiral-DT med kontinuerlig avsökning introducerades 1989. Multikanals-DT (4-slice CT) introducerades tio år senare. Sedan tog det bara tre år innan 16-kanals-DT fanns på marknaden och endast ytterligare två år innan 64-kanals-DT var i drift. Ett år senare (2006) introducerades dubbelrörs-DT (dual source CT, DSCT) med två röntgenrör och 83 ms tidsupplösning. Med fyrkanals-DT möjliggjordes

hjärtavbildning, men studier kunde visa att tekniken inte kunde användas kliniskt för att påvisa eller utesluta kranskärlsjukdom, beroende på artefakter i bilderna som främst orsakades av dålig tidsupplösning [1]. Med 16-kanals-DT kunde potentiell nytta med hjärt-DT påvisas [2]. De flesta studier av tekniken kom dock från några få utvalda universitet [3-5].

Efter introduktionen av 64-kanals-DT år 2004 har hjärt-DT-metoden fått en snabb spridning i världen. Klinisk nytta har påvisats i ett flertal studier [6-10] (Tabell I). I en studie där man använt sig av den senaste DSCT-tekniken uppvisades en sensitivitet på 96,4 procent, en specificitet på 97,5 procent, ett positivt prediktivt värde på 85,7 procent och ett negativt prediktivt värde på 99,4 procent [11].

Gemensamt för alla studier är att det föreligger ett mycket högt negativt prediktivt värde, dvs om undersökningen bedöms vara normal är sannolikheten för att kranskärlssjukdom saknas stor [12]. Gemensamt för studierna är också att man visat att risken för att överskatta stenosgraden är större än med konventionell angiografi. I ett flertal studier har icke-bedömbare kärlsegment exkluderats, vilket måste beaktas när man värderar resultaten [8]. Ett stort generellt problem vid bedömning av utförda studier är den snabba tekniska utvecklingen. Det gör att det finns relativt få studier med många patienter inkluderade och att det helt saknas stora prospektiva, randomiserade studier.

## Undersökningens utförande

DT-undersökning av hjärtat består av flera delmoment, där varje steg måste optimeras för att klinisk nytta ska erhållas: 1) patientselektion, 2) patientförberedelse: intravenös kanyl för kontrasttillförsel och vid behov betablockerare, 3) bildinsamling, val av undersökningsprotokoll samt selektion och tajm-

## SAMMANFATTAT

**Selektiv kranskärlsröntgen** är i dag den enda kliniska metod som kan avbilda och kvantifiera kranskärlstenoser in vivo med tillräckligt hög säkerhet. Nackdelarna är att undersökningen är invasiv och relativt resurskrävande.

**Datortomografi** är en teknik under konstant, snabb utveckling, och efter introduktionen av 64-kanalsdatortomografi har kranskärlsdator-tomografi fått mycket snabb spridning i världen.

**Klinisk nytta** har påvisats i ett flertal studier, dock saknas ännu stora randomiserade, prospektiva studier.

**Metoden medger** anatomisk kartläggning av kranskärlslu-

men och kärlvägg med begränsad möjlighet till bedömning av blodflöde. Högt negativt prediktivt värde för kranskärlssjukdom och risk för överskattning av kärlstenoser har påvisats. Kalk i kärlvägg och oregelbunden hjärtfrekvens försvårar bedömningen kraftigt.

**Stråldosbelastningen** är apparatgenerationsberoende och varierar kraftigt från låg till hög dos.

**Metoden utvecklas** snabbt och har stor potential för framtiden, men i dagsläget är den inte lämpad för daglig sjukvård och bör begränsas till att användas inom ramen för kontrollerade studier.

**TABELL I.** Sensitivitet, specificitet och negativt prediktivt värde för datortomografi i några studier

Studie	Sensitivitet, procent	Specificitet, procent	Negativt prediktivt värde, procent
Fine et al [6]	87	97	98
Raff GL et al [7]	95	86	98
Leschka et al [8]	94	97	99
Mollet NR et al [9]	99	95	99
Ropers et al [10]	93	97	100

ning av kontrasttillförsel; 4) postprocessning av bilddata och slutligen 5) bildgranskning.

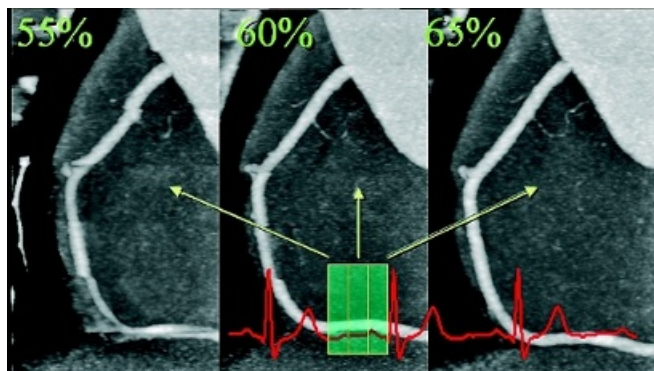
**Patientselektion** är den enskilt viktigaste parametern. Vid flera centra undersöks i dag symtomatiska patienter med intermediär risk för kranskärlsjukdom. Man lutar sig då mot metodens höga negativa prediktiva värde, som ger möjlighet att avstyra ytterligare undersökningar av kranskärlen om DT-undersökningen är normal (Tabell I). Stora prospektiva, randomiserade studier som stöder detta saknas ännu. Andra indikationer är utredning av kranskärlsanomalier och kontroll av bypass-graft hos symtomatiska patienter [13-15]. DT kan vara av värde inför rekanalisering när kroniska ocklusioner föreligger [16]. Visualisering av lumen inom kranskärlsstentor kan vara ett problem på grund av artefakter från stenten [17-19]. Flera studier inom detta område med den senaste dubbelrörstekniken kommer att publiceras under 2008-2009.

**Patientförberedelse.** Om enkelrörsteknik används och om patientens puls överstiger 60 per minut behöver betablockerare tillföras före undersökningen. Det är viktigt att informera patienten om vikten av att hålla andan under själva bildtagningen för att minimera artefakter som kan likna stenoser vid bildgranskningen. Före själva undersökningen bör »nitropuff« (glyceryltrinitrat) administreras.

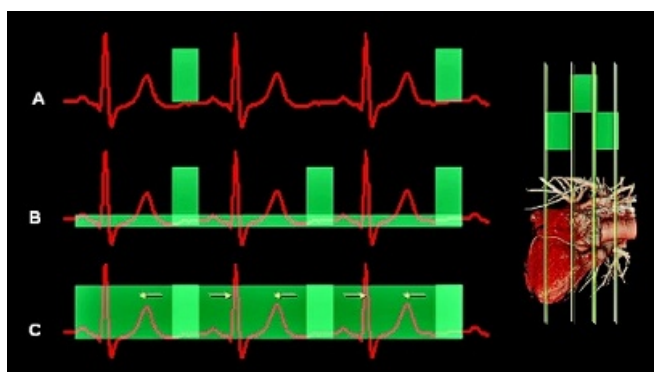
**Bildinsamling.** Designen av de olika leverantörernas olika system skiljer avseende upplösning, stråldos och metod att samla in bilddata. Maskinerna fyller olika behov och passar olika patientgrupper. Således kan man inte jämföra olika studier om man inte beaktar med vilken teknik undersökningen genomförts, t ex med 16-kanals-, 64-kanals- eller dubbelrörsteknik. Det är dock viktigt att komma ihåg att hjärt-DT är mer krävande än andra DT-undersökningar. Det krävs att hela undersökningskedjan är optimerad: från remisskrivning till remissvar. Det finns två principiellt olika metoder att samla in data för att framställa datortomografibilden: prospektiv och retrospektiv insamling.

*Prospektiv skanning* bygger på att bilderna exponeras vid en viss förutbestämd fas i EKG-cykeln, vanligtvis under diastole, för att undvika rörelseartefakter. Antalet skivor av hjärtat som måste samlas in beror på hur bred detektorn är. Vanligtvis krävs 4-8 exponeringar innan hela hjärtat är avsett. Normalt sker exponering vartannat hjärtslag. Undersökningsbordet flyttas stegvis mellan varje insamling. Eftersom man avbildar hjärtat enbart i diastole erhålls ingen funktionell information. Prospektiv skanning kan ge upphov till rörelseartefakter i bilden om hjärtfrekvensen överstiger 65 per sekund.

Metoden är också relativt känslig för extraslag och variatio-



**Figur 1.** Bilddata rekonstruerade från tre olika faser i QRS-komplexet vid retrospektiv insamling.

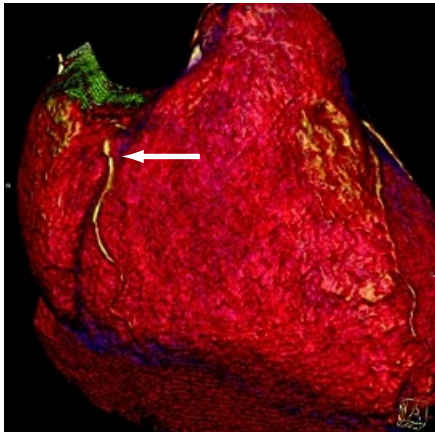


**Figur 2.** A: Principen för prospektiv skanning. Bordet flyttas mellan varje exponering, och bilder sätts samman till en volym. Begränsad möjlighet att påverka insamlade data efter undersökning men låg stråldos. B: Principen för retrospektiv skanning med dosmodulering, hög dos i diastole och mycket låg dos i systole. Funktionell information kan erhållas. C: Retrospektiv skanning utan dosmodulering. Hög totaldos men möjlighet att fritt välja var bilderna ska räknas fram i R-R-intervallet även efter undersökning.

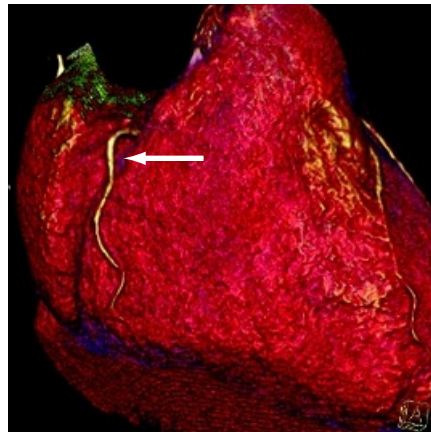
ner i hjärtfrekvens under datainsamlingsfasen. En stor fördel med denna metod är att stråldosen kan reduceras ned till strax ovan 1 mSv (att jämföras med 5-8 mSv vid konventionell kranskärlsröntgen). Prospektiv skanning användes tidigare för enbart kranskärlskalkmätning, men tack vare ny teknik har metoden under det senaste året kommit till allt större användning även för kranskärlsavbildning. Metoden passar bra vid undersökning av patienter med regelbunden puls under 65 per sekund. Metoden kräver premedicinering med betablockerare.

*Retrospektiv skanning* ger möjlighet att samla in information under hela hjärtcykeln. Metoden innebär kontinuerlig avsökning under pågående bordsrörelse. EKG lagras tillsammans med undersökningsdata, och bilder kan sedan rekonstrueras från valfria delar av hjärtcykeln. Metoden är mindre känslig för arytmier, och optimalt rekonstruktionsintervall från rådata kan väljas även efter avslutad undersökning. Tidsupplösta tredimensionella bilder som visar funktionella data kan erhållas genom att bilderna rekonstrueras från alla delar av QRS-komplexet (Figur 1). Man kan analysera hjärtat och klaffarnas rörelse samt t ex bedöma slutdiastolisk volym. Information om både morfologi och funktion kan på detta sätt erhållas inom samma undersökning.

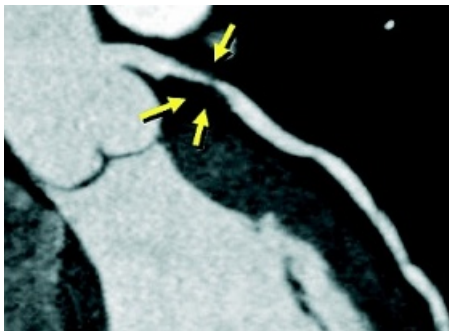
Retrospektiv skanning ger hög geometrisk upplösning och möjlighet till närmast kubiska bildelement, vilket innebär att bilden kan rekonstrueras i valfritt plan från rådata. Skannings-



**Figur 3.** Misstänkt stenos försvinner på bilden när annan fas i R-R-intervallet granskas.



**Figur 4.** Kurverad multiplanar bild (cMPR) visar mjukt plack i vänster kranskärl.

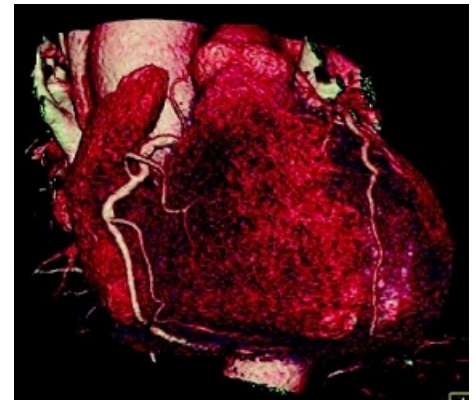


**Figur 5.** Mätning av kranskärls tvärsnittsarea och diameter för stenosbedömning.

tiden är med den senaste tekniken ca 5–7 sekunder. Eftersom man strålar under hela hjärtcykeln blir dosen högre än vid prospektiv skanning. Stråldosen vid retrospektiv skanning varierar mellan 5 och 20 mSv, beroende på om s k dosmodulering och dubbelsrörsteknik används. Lägsta totaldos med denna teknik erhålls om dosen reduceras under systole och höjs under diastole. I dag ges möjlighet att med denna teknik reducera dosen med upp till 96 procent under systole, och på detta sätt kan man närma sig den dosnivå som erhålls vid prospektiv skanning (ca 5 mSv) utan att göra avkall på den funktionella informationen (Figur 2).

**Postprocessning av bilddata.** Granskningsbara bilder räknas fram från rådata i plan som motsvarar de plan som används vid konventionell angiografi, hjärtats kortaxel, långaxel etc.

**Bildgranskning.** Bilderna från datortomografen överförs i de flesta fall till en särskild arbetsstation, där granskning sker av två- (2D) eller tredimensionella (3D) bilder. I dag finns ingen standard för hur bildgranskning ska utföras. För att uppnå bästa resultat bör bilderna granskas både två- och tredimensionellt. För säker diagnos bör bilddata från flera faser inom R–R-



**Figur 6.** Tredimensionell «volume rendering»-bild av hjärtat utförd med lågdosteknik.

## FAKTA 1. Begränsande faktorer

- Extraslag och arytmier
- Stråldos
- Kärlkalk
- Risk för överskattning av kärilstenoser
- Jodallergi

intervallet granskas om misstanke om stenos föreligger (Figur 3). Kurverade multiplanara rekonstruktioner (cMPR) ger bäst uppfattning om stenosgrad och om mjuka plack föreligger (Figur 4). Till skillnad från konventionell angiografi ger hjärt-DT möjlighet till mätning även i valfritt plan av både kärldiameter och kärldata inom stenoserade kärlområden (Figur 5). Detta kan ge en säkrare bedömning. För att avgöra om hemodynamisk signifikant stenos föreligger används i dag dock företrädesvis kärldiameter som bedömningsgrund, som vid konventionell angiografi.

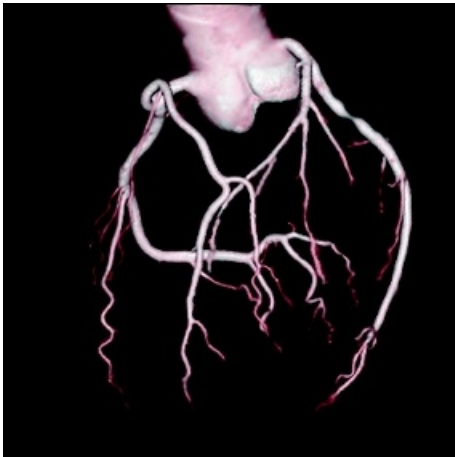
## Begränsningar och svårigheter

Extraslag och arytmier kan ge artefakter som liknar stenoser. Detta är främst ett problem vid prospektiv avsökning där möjligheten att justera bilddata efter undersökningen är begränsad. Hög hjärtfrekvens trots tillförsel av betablockerare vid användning av enkelrörsteknik kan ge artefakter [20] (Fakta 1).

Kalk i kranskärlen gör att bedömning försvåras och att risken för överdiagnostik av stenosgrad ökar. Ett sätt att avgöra om stora mängder kalk föreligger är att göra en »lågdos«-avsökning med prospektiv teknik innan kontrast administreras. Detta ger dock en liten extra strålbekastning, som ska vägas mot risken att undersökningen inte ger någon klinisk information inom de kärllavsnitt som innehåller mycket kalk. Oförmåga att hålla andan kan ge kraftiga artefakter i bilderna och försvåra bildgranskningen. Jodkontrastmedel tillförs intravenöst, med risk för allergiska reaktioner som följd.

Efter att metoden tagits i kliniskt bruk för omkring tre år sedan har intresset för stråldosens betydelse för strålinducerad cancer ökat betydligt. Det är visat att det föreligger en klart ökad risk för strålinducerad cancer, framför allt vid DT-undersökning på yngre individer (20 år), som avtar med ökande ålder [21]. Även inom detta område har den snabba tekniska utvecklingen gjort det svårt att få underlag till stora studier. Dosen varierar i dag mellan 1,5 och 22 mSv för en undersökning, beroende på modalitet och teknik som används för att samla in data [22].

De flesta studier grundar sig på en teknik som introducerades på marknaden för två till tre år sedan [23, 24]. Dessa maskiner kommer således att vara i fortsatt klinisk drift under yt-



**Figur 7.** Exempel på ny teknik för automatisk visualisering av kranskärlen för att underlätta granskning.

terligare tre till tio år. Med den senaste tekniken har dosnivåerna reducerats påtagligt, och ytterligare reduktion förväntas under kommande år (Figur 6). Ett problem i dag är att maskinerna inte är justerade för den lägsta dosen, utan för att uppnå denna krävs manuell justering av protokoll och kunskap att utföra detta [22]. Således ligger det ett stort ansvar hos klinikerna för att rätt patient remitteras till undersökning och att undersökningen utförs med låg dos, enligt ALARA-principen – »as low as reasonably achievable«.

## Ekonomi

Totalkostnaden för en undersökning av kranskärlen med datortomografi är i dag ca 5 000 kr jämfört med 12 000–18 000 kr för en konventionell diagnostisk kranskärlsundersökning. Nyligen publicerade preliminära resultat från en prospektiv multicenterstudie i USA av 20 000 DT-kranskärlsundersökningar har visat på en årlig besparing för det amerikanska sjukvårdssystemet på 55 miljoner kr och 3 300 kr per behandlad patient om DT skulle användas för att styra utredningsgången vid bröstsmärta [25]. Detta går inte att direkt överföra till svensk sjukvård, men det visar tydligt vad som driver på införandet av tekniken.

## Framtid

Utvecklingen på apparatsidan kommer att fortsätta, och prototyper på helt nya datortomografer testas, där tidsupplösningen är bättre än 50 ms. Hela hjärtat kan avbildas på under en sekund, och stråldoserna är under 1 mSv [26, 27]. En lovande teknik som kommer att utvecklas är möjligheten att erhålla energiuoplösta bilder, vilket sannolikt ger helt nya möjligheter att avbilda de vulnerabla aterosklerotiska plackens olika komponenter i kranskärlsväggen. Tekniken ger redan i dag möjlighet att inom samma undersökning få svar på om kranskärlssjukdom, lungemboli eller dissektion inom aorta föreligger, »triple rule out«, dock till priset av högre kontrast och stråldos. För närvarande finns sparsamt med publikationer som visar på säker patientnytta i förhållande till de ökade doserna. Denna metod kan dock komma att få allt större betydelse när nästa generations datortomografer når den kliniska vardagen.

## Slutord

DT-undersökning av hjärtat är en metod som har utvecklats mycket snabbt under de senaste fem åren. Hjärtat kan med minimalt invasiv teknik undersökas på bara några sekunder. Med denna teknik ges möjlighet att framställa inte bara kranskärlslumen utan också dess vägg [28]. Funktionell information avseende perfusion inom myokardiet kan erhållas. Det är visat att

man med mycket stor sannolikhet kan utesluta kranskärlssjukdom [29, 30] (Figur 7). Dock är dess plats inom sjukvården inte helt klar. Det saknas helt stora randomiserade, prospektiva studier. Metoden medger i dag endast en anatomisk beskrivning av kärlumen och kärlvägg utan möjlighet till flödesvariabel. Stråldosbelastning är apparatgenerationsberoende.

I dagläget är datortomografi av hjärtats kranskärl inte lämpad för daglig sjukvård och bör i första hand begränsas till att användas för att utesluta kranskärlssjukdom och inom ramen för kontrollerade studier. Riskerna med stråldosbelastningen ska vägas mot klinisk nytta i varje enskilt fall.

■ *Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.*

## REFERENSER

- Choi HS, Choi BW, Choe KO, Choi D, Yoo KJ, Kim MI, et al. Pitfalls, artifacts, and remedies in multi-detector row CT coronary angiography. *Radiographics*. 2004;24:787-800.
- Lawler LP, Pannu HK, Fishman EK. MDCT evaluation of the coronary arteries, 2004: How we do it – data acquisition, postprocessing, display, and interpretation. *AJR Am J Roentgenol*. 2005;184:1402-12.
- Achenbach S, Ropers D, Pohle FK, Raaz D, von Erffa J, Yilmaz A, et al. Detection of coronary artery stenoses using multi-detector CT with 16 x 0.75 collimation and 375 ms rotation. *Eur Heart J*. 2005;26:1978-86; 1942-4.
- Fine JJ, Hopkins CB, Hall PA, Delphia RE, Attebery TW, Newton FC. Noninvasive coronary angiography: agreement of multi-slice spiral computed tomography and selective catheter angiography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2004;20(6):549-52.
- Leschka S, Alkadhi H, Plass A, Desbiolles L, Grünfelder J, Marincek B, Wildermuth S. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J*. 2005;26(15):1482-7.
- Scheffel H, Alkadhi H, Plass A, Vachenaue R, Desbiolles L, Gaemperli O, et al. Accuracy of dual-source CT coronary angiography: first experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol*. 2006;16(12):2739-47.
- Raff GL, Goldstein JA. Coronary angiography by computed tomography: coronary imaging evolves. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49(18):1830-3.
- Nieman K, Pattynama PM, Rensing BJ, Van Geuns RJ, De Feyter PJ. Evaluation of patients after coronary artery bypass surgery: CT angiographic assessment of grafts and coronary arteries. *Radiology*. 2003;229:749-56.
- Mollet NR, Hoyer A, Lemos PA, Cademartiri F, Sianos G, McFadden EP, 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;95:240-3.
- Das KM, El-Menyar AA, Salam A, Dabdoob W, Al Binali H, Suwaidi JA. Contrast enhanced 64-slice multi-detector computed tomography coronary angiography versus conventional invasive quantitative coronary angiography in coronary artery stent assessment. *Radiology*. 2007;245:424-32.
- Gilard M, Cornily JC, Pennec PY, Joret C, Le Gal G, Mansourati J, et al. Accuracy of multislice computed tomography in the preoperative assessment of coronary disease in patients with aortic valve stenosis. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:2020-4.
- Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA*. 2007;298:317-23.
- [http://www.rsna.org/Publications/rsna/oct07/upload/RSNAOct07-MS\\_CardiacCT.pdf](http://www.rsna.org/Publications/rsna/oct07/upload/RSNAOct07-MS_CardiacCT.pdf)
- Coles DR, Smail MA, Negus IS, Wilde P, Oberhoff M, Karsch KR, et al. Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:1840-5.
- <http://www.diagnosticimaging.com/cardiovascular/feature/showArticle.jhtml?articleID=202200867>
- <http://www.dimag.com/cardiovascular/feature/showArticle.jhtml?articleID=197700574>
- Schmidt TG, Star-Lack J, Bennett NR, Mazin SR, Solomon EG, Fahrig R, et al. A prototype table-top inverse-geometry volumetric CT system. *J Med Phys*. 2006;33(6):1867-78.
- Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M, Hendel RC, Carr JC, et al. ACCF/ACCR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:1475-97.
- Goldstein JA, Gallagher MJ, O'Neill WW, Ross MA, O'Neil BJ, et al. Randomized controlled trial of multi-slice coronary computed tomography for evaluation of acute chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:863-71.