

관상동맥 CT 혈관조영술상 정상이었으나 심혈관계 사건이 발생한 2예

연세대학교 의과대학 내과학교실

이찬주 · 김광준 · 오창명 · 유희태 · 장지용 · 최동훈 · 장혁재

Normal coronary CT angiography with subsequent adverse cardiac events

Chan Joo Lee, M.D., Kwang Joon Kim, M.D., Chang Myung Oh, M.D., Hee Tae Yu, M.D., Ji Yong Jang, M.D., Donghoon Choi, M.D., and Hyuk-Jae Chang, M.D.

Department of Internal Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Multi-detector row coronary computed tomography (CT) angiography is an emerging noninvasive diagnostic tool for coronary artery disease. Because of the high negative predictive value of the test, coronary CT angiography is useful for ruling out significant coronary artery stenosis in patients with chest pain. Between 2003 and 2009, 2,148 (50%) of 4,337 patients who underwent coronary CT angiography had a normal coronary artery. Of the 2,148 patients, only two (0.09%) experienced cardiovascular events within three months of their index visit. One patient underwent invasive coronary angiography based on a positive exercise test result, while the second underwent invasive coronary angiography due to an episode of chest pain. Coronary angiographic examination of these two patients revealed significant luminal narrowing of the proximal left anterior descending artery; both patients underwent revascularization at the discretion of their physician. (Korean J Med 79:553-558, 2010)

Key Words: Coronary artery stenosis; Coronary angiography; Computed tomography

서 론

관상동맥 질환은 우리나라에서도 사망률 수위를 차지하는 주요 질환군이며 이로 인한 사회, 경제적 비용 또한 심각한 수준이다. 과거 침습적 X-선 관상동맥조영술이 관상동맥 질환의 진단에 있어 표준진단방법으로 간주되어 왔으나, 최근 다검출 나선형 컴퓨터단층촬영장치(multi-detector row CT, 이하 MDCT)가 임상에 도입되면서 비침습적으로 관상동맥질환을 진단하기 위한 검사로서 관상동맥 CT 혈관조영

술의 사용이 급격히 증가하고 있다.

관상동맥 질환이 의심되는 환자들에서 CT 혈관조영술을 침습적인 X-선 관상동맥조영술과 비교하여 CT 혈관조영술의 관상동맥 질환 진단의 정확도를 분석한 연구들에 따르면, 민감도와 특이도는 각각 90% 이상으로 매우 높아 임상적으로 관상동맥 질환이 의심되는 경우 CT 혈관조영술은 관상동맥의 유의한 협착을 여부를 진단하는데 매우 유용하게 사용될 수 있음이 알려져 있다¹⁾. 또한 응급실에서 급성 흉통을 주소로 내원한 환자들을 대상으로 CT를 시행하는 경우 진단

• Received: 2009. 11. 6

• Revised: 2009. 11. 16

• Accepted: 2009. 11. 16

• Correspondence to Hyuk-Jae Chang, M.D., Department of Internal Medicine, Yonsei University College of Medicine, 250 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea E-mail: hjchang@yuhs.ac

에 소요되는 시간을 단축하고 불필요한 입원을 줄여 주는 역할을 한다고 알려져 있으며²⁾, 이외에도 관상동맥 스텐트의 개통도를 평가하거나 관상동맥 이식편(bypass graft)의 개통도를 평가하는 데에도 사용하고 있다^{3,4)}.

이러한 다양한 임상적 적응증에 있어 공통적으로 기반하고 있는 관상동맥 CT 혈관조영술의 기술적 강점은 높은 음성예측도이다. 즉, CT에서 관상동맥의 협착이 발견되지 않는 경우 유의한 관상동맥 질환을 배제할 수 있으며 특히 CT 혈관조영술에서 정상소견을 보인 환자들의 경우 예후 추적 연구에서도 그 예후가 매우 양호하다는 사실이 알려진 바 있다⁵⁾.

그러나 관상동맥 CT 혈관조영술이 음성예측도가 95~99%로 과거에 사용되었던 여러 비침습적 검사방법에 비해 현저히 우수하다 하더라도 비침습적 검사의 속성상 위음성의 가능성은 상존하고 있으며 이는 CT 검사시의 영상획득 관련 지표와 판독자의 숙련도 등 여러 요소에 의해 좌우될 수 있다⁶⁾.

저자 등은 본원에서 2003년 3월부터 2009년 4월까지 관상동맥 질환 의심하에 관상동맥 CT 혈관조영술을 시행한 환자 4,337명 중 2,148명(50%)에서 CT 혈관조영술상 정상 관상동맥 소견을 보였으며 이들 환자들은 3개월간의 단기 추적기간에 매우 양호한 예후를 보였으나 일부 환자에서 추적기간 중 유의한 심근허혈이 증명되었거나 또는 심장혈관계 사건이 발생하여 재관류술을 필요로 하였던 증례를 경험하였기에 이를 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

증례

증례 1

환자: 김○자, 여자, 54세

주소: 가슴 부위의 찌르는 듯한 통증

현병력: 내원 7개월 전부터 불규칙적인 좌측 가슴 부위의 통증을 주소로 외래 내원하였다.

과거력: 특이병력 없음. 흡연력, 음주력 없음.

가족력: 언니가 협심증으로 치료 중임.

이학적 소견: 내원시 생체징후는 혈압 115/68 mmHg, 맥박수 70회/분, 호흡수 15회/분, 체온은 36.5°C였다. 심음은 규칙적이었고, 심잡음은 청진되지 않았으며, 호흡음은 정상소견이었다. 체질량지수는 25.8 kg/m²였다.

혈액검사 소견: 혈청생화학 검사상 혈당 84 mg/dL, 총 콜레스테롤 229 mg/dL, 고밀도 지단백 콜레스테롤 77 mg/dL, 저밀도 지단백 콜레스테롤 132 mg/dL, 중성지방 155 mg/dL였다.

단순 흉부 X-선 촬영: 심비대, 폐문부 울혈이나 중격동의 확장 소견은 보이지 않았다.

표면 심전도 검사: 정상 동율동이었으며 ST 분절의 변화나 다른 심전도상의 변화는 관찰되지 않았다.

관상동맥 CT 혈관조영술(Sensation 64, Siemens Medical Systems, Forchheim, Germany; scan parameters: 330-millisecond gantry rotation time, 120 kV, 800 mAs, 0.6 mm

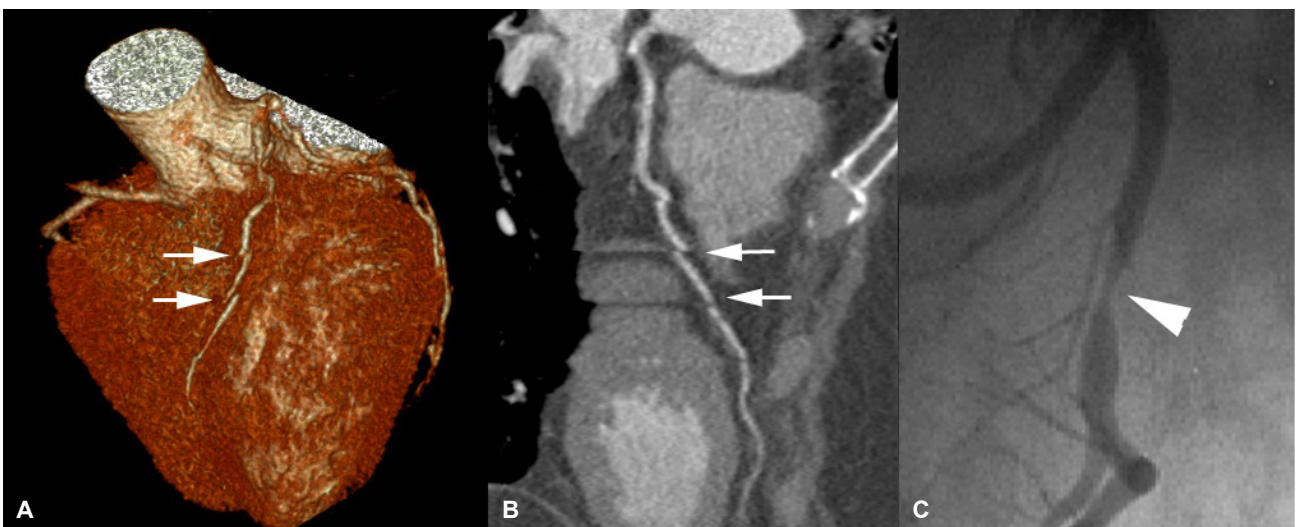


Figure 1. Case 1 involved a 54-year-old patient with atypical chest pain (BMI=25.8 kg/m²). (A) and (B) Volume-rendered and curved multiplanar reconstruction images (thickness=0.75 mm; heart rate=69 bpm) showing a motion artifact (arrow) in the left anterior descending artery (LAD). (C) Conventional X-ray angiograph showing severe stenosis (arrowhead) of the mid LAD.

slice collimation, 1 mm slice width, and 3.3 mm table feed/rotation; 심박수 69회): 관상동맥 질환 의심 소견이 관찰되지 않았다(관상동맥 석회화 수치: 0).

운동부하 심전도 검사: Bruce protocol 4단계에서 II, III, aVF, V4-6의 ST 분절 하강(1 mm)이 관찰되었다.

임상경과: 입원 후 시행한 X-선 관상동맥조영술상 좌전하행지 중간부위의 80% 협착소견이 보여 sirolimus 용출성 스텐트(Cypher[®])를 삽입하였으며 이후 증상없이 외래 통원치료 중이다.

증례

증례 2

환자: 정○섭, 남자, 73세

주소: 가슴 부위의 터질 듯한 통증

현병력: 내원 8개월 전부터 걸으면 심해지는 통증 있어 외래 내원하여 운동부하검사 및 관상동맥 CT를 시행받고 이상소견 없어 경과관찰하였으나 증상 악화되어 응급실 내원하였다.

개인력: 내원 8개월 전 고혈압 진단받고 투약 중임. 기타 특이병력 없음, 흡연력, 음주력 없음.

가족력: 없음.

이학적 소견: 내원 시 생체징후는 혈압 119/63 mmHg, 맥박수 66회/분, 호흡수 15회/분, 체온은 36.5°C였다. 심음은 규칙적이었고, 심잡음은 청진되지 않았으며, 호흡음은 정상소견이었다. 체질량 지수는 24.4 kg/m²였다.

혈액검사 소견: 혈청생화학 검사상 혈당 109 mg/dL, 총 콜레스테롤 107 mg/dL, 고밀도 지단백 콜레스테롤 46 mg/dL, 저밀도 지단백 콜레스테롤 62 mg/dL, 중성지방 67 mg/dL였다.

단순 흉부 X-선 촬영: 심비대, 폐문부 울혈이나 종격동의 확장 소견은 보이지 않았다.

표면 심전도 검사: 정상 동율동이었으며 ST 분절의 변화나 다른 심전도상의 변화는 보이지 않았다.

관상동맥 CT 혈관조영술(Sensation 64, Siemens Medical Systems, Forchheim, Germany; scan parameters: 330 millisecond gantry rotation time, 120 kV, 800 mAs, 0.6 mm slice collimation, 1 mm slice width, and 3.3 mm table feed/rotation; 심박수 62회): 관상동맥의 협착소견은 보이지 않았다(관상동맥 석회화 수치: 0).

운동부하 심전도검사: Bruce protocol 3단계에서 V5-6의 ST 분절의 불분명한(equivocal) 변화가 관찰되었으나 저명한 ST 분절하강 소견은 관찰되지 않았고, 운동 중 흉통 발생 없었다.

임상경과: 기준 방문(index visit) 1주 후 급격한 흉통을 호소하며 응급실에 내원하여 불안정형 협심증 진단하에 시행

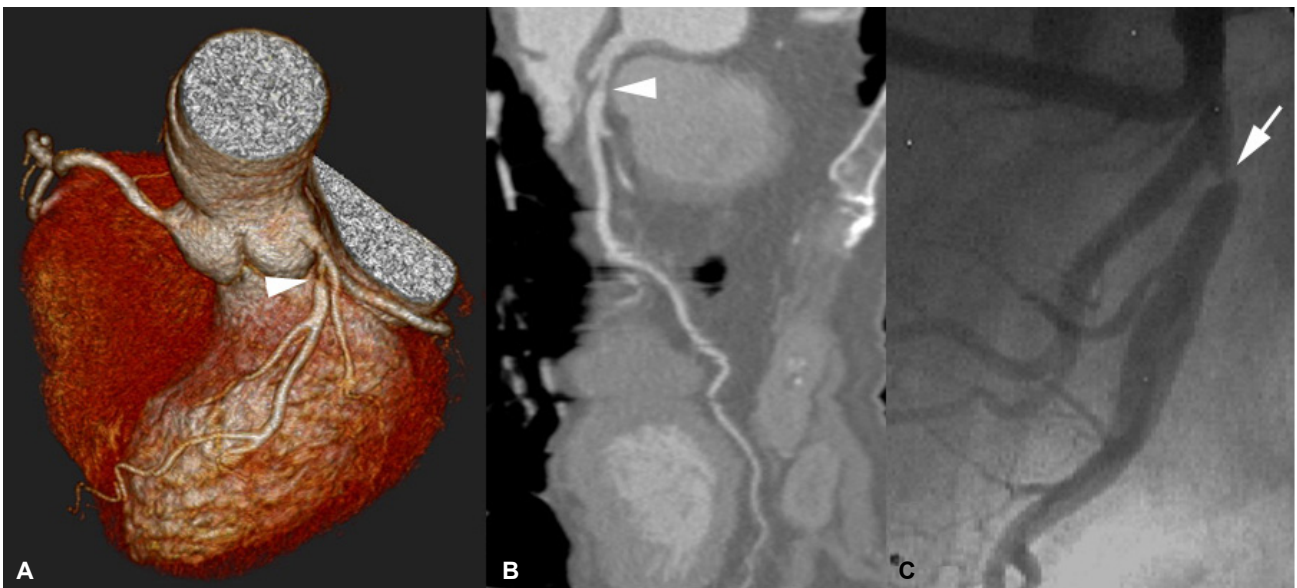


Figure 2. Case 2 involved a 73-year-old patient with unstable angina (BMI=24.4 kg/m²). (A) and (B) High-quality volume-rendered and curved multiplanar reconstruction images (thickness=0.75 mm; heart rate=62 bpm) showing stenosis (arrowhead) of the proximal left anterior descending artery; however, the official reading was no evidence of coronary artery disease. (C) Conventional X-ray angiograph showing significant luminal narrowing (arrow) of the proximal LAD.

한 X-선 관상동맥조영술상 좌전하행지 근위부의 90% 협착 소견이 보여 zotarolimus 용출 스텐트(Endeavor[®])를 삽입하였다. 이후 증상없이 외래 통원 치료 중이다.

고 찰

1990년대 후반 MDCT 기술이 처음 개발된 이후 4절편에서 16절편 그리고 64절편 다검출기(MDCT)를 이용한 관상동맥 CT 혈관조영술 기법이 임상에 적용되면서 MDCT를 이용한 관상동맥 질환의 비침습적 진단의 정확성은 획기적으로 향상되었다. 16절편 다검출기 CT와 64절편 다검출기 CT를 비교한 연구에 따르면 특이도 69% vs. 90%, 양성예측률은 79% vs. 93%로 64절편 다검출기 CT가 16절편 다검출기 CT에 비해 특이도와 양성예측률이 의미있게 향상된 결과를 보여주었다⁷⁾. 이와 같은 결과는 기본적으로 검출기 절편 두께(slice thickness) 감소, 갠트리(gantry) 회전속도 증가, 새로운 영상 재조합 기술 개발 등 장비의 하드웨어 혹은 소프트웨어상의 기술개발을 통한 공간해상도와 시간해상도의 향상에 따른 것이며 이를 바탕으로 임상에서 관상동맥 CT 혈관조영술의 사용이 급격히 증가하고 있다.

현재 가장 널리 임상에서 사용되는 64절편 MDCT를 이용한 CT 혈관조영술의 관상동맥 질환 진단의 정확도를 분석한 연구들에 따르면, X-선 관상동맥 조영술과 비교하였을 때 64절편 다검출기 CT 혈관조영술의 민감도는 86~96%, 특이도는 92~98%, 양성예측률 56~97%, 음성예측률 92~99%로 나타났다. 특히, 여러 연구에서 공통적으로 지적하는 바는 음성예측률이 매우 높다는 것이며 이는 흉통을 호소하는 환자에서 선별검사로서 CT 혈관조영술의 강점을 시사하는 것이라 할 수 있다¹⁾. 즉, CT에서 관상동맥의 유의한 협착이 발견되지 않는 경우, 특히 정상 관상동맥소견을 보이는 경우 관상동맥 질환을 배제할 수 있다.

최근 미국심장학회 등은 관상동맥 CT 혈관조영술 시행에 있어 적합성의 기준을 발표한 바 있으며 이에 따르면 CT 혈관조영술은 흉통 등의 관상동맥 질환을 의심할 만한 증상이 있으나, 위험인자들을 고려할 때 관상동맥 질환의 가능성이 낮거나 중간 이하로 생각되는 사람에게서 가장 유용하게 사용될 수 있다고 하였다⁸⁾. 이는 검사의 민감도가 높기는 하지만 관상동맥 질환의 특성과 기존의 임상적 치료과정을 고려할 때 관상동맥 질환이 강력히 의심되는 환자에서 이를 확인하는 용도보다 CT의 높은 음성예측도를 이용한 관상동맥 질환을 배제하는데 사용하는 것이 더 효과적이기 때문이다.

그러나 CT 혈관조영술은 다른 여러 비침습적 검사와 같이 여러 요인이 검사의 정확도에 영향을 줄 수 있기 때문에 검사 결과를 비판없이 받아들이기 전에 다음의 여러 요인들에 대한 고려가 필요하다. 첫째로, 적절한 범위의 심박수에 얻은 영상으로부터 도출된 결과인가? Raff 등이 발표한 논문에 따르면 심박수가 70회/분 이하에서는 민감도 97%, 특이도 95%, 양성예측률 97%, 음성예측률 95%이나 70회/분 보다 높을 때는 민감도 88%, 특이도 71%, 양성예측률 78%, 음성예측률 83%로 CT의 정확성이 크게 떨어졌다⁹⁾. 또한 Pugliese 등의 연구에서도 CT 혈관조영술의 영상의 질이 떨어지는 이유를 분석한 결과, 50%가 움직임에 의한 것이었고, 특히 이는 우관상동맥의 영상판독 결과에 많이 영향을 주는 것으로 나타났다¹⁰⁾. 따라서 적절한 영상을 얻기 위해서는 장비에 따라 적절한 범위로 환자의 심박수를 조절하는 것이 필수적이다.

관상동맥의 석회화도 영상의 질에 영향을 줄 수 있다. 관상동맥의 석회화는 심혈관계 질환의 위험인자 중 하나로 생각되고 있으며, 관상동맥 석회화 점수(coronary artery calcium score)가 높을수록 관상동맥 질환의 중증도(burden)가 매우 높음을 시사하는 소견이다^{11,12)}. 심한 관상동맥 석회화가 동반된 경우 CT 혈관조영술의 민감도, 특이도, 양성예측률, 음성예측률 모두 감소하며, 석회화가 위양성과 위음성 결과의 주원인이 된다고 알려져 있다^{13,14)}.

또한 환자의 비만도가 영상의 화질과 관련이 있다는 보고도 있으며, Raff 등의 연구에서 체질량지수(body mass index; BMI)가 정상(<25 kg/m²)인 경우 CT 혈관조영술의 민감도, 특이도, 양성예측률, 음성예측률 모두 100%였으나 비만(BMI>30 kg/m²)인 경우 90%, 86%, 91%, 86%로 현저히 감소하는 결과를 보였다⁹⁾.

따라서 임상적으로 허혈성 심질환이 의심되는 환자에서 CT상에서 음성이 나온 경우라도 이상과 같은 요소는 영상의 질에 영향을 미쳐 위음성을 증가시킬 수 있기 때문에 관상동맥 질환을 배제하기 전에 이를 반드시 고려하여야 한다.

CT 혈관조영술을 판독하는 의사의 경험 또한 중요한 요소로 최근에 Pugliese 등이 발표한 논문에서는 피험자들이 1년 동안 1주일에 12개 이상의 CT 혈관조영술을 판독하게 한 후 4주, 8주, 6개월, 1년 후 판독의 진단 정확도(diagnostic odd ratio)를 분석하였고, 적어도 1년 이상의 경험이 CT 혈관조영술의 판독 능력을 향상시켜 준다고 주장하였다¹⁵⁾. 미국심장학회에서는 관상동맥 CT 혈관조영술의 판독을 하는 의사들의 판독능력 향상을 위한 훈련 지침과 기준을 만들어 숙련된

판독을 위해서는 적어도 300개 이상의 판독을 시행할 것을 권장하고 있다¹⁶⁾. 또한, 위음성과 위양성을 줄이기 위해서 판독방법에 대한 지침을 제시한 바 있다¹⁷⁾.

따라서 상기 원인으로 CT 검사가 부적절하거나 단독으로 적절한 진단이 불가능할 경우 다른 영상학적 검사를 함께 이용하는 것도 도움이 된다. 최근 Sato 등은 130명의 환자를 대상으로 CT 혈관조영술과 SPECT (single photon emission computed tomography)를 이용한 심근관류영상을 촬영한 후에 CT 혈관조영술만의 정확도와 CT와 심근관류영상을 함께 이용하였을 때의 정확도를 비교하였는데, 두 가지 영상검사를 함께 이용하는 것이 CT 혈관조영술만을 이용하였을 때보다 특이도는 70%에서 87%로 증가하였고, 양성예측률도 82%에서 91%로 증가한 결과를 보여 CT와 심근관류영상을 함께 사용하는 것이 진단에 도움이 될 수 있음을 보고한 바 있다¹⁸⁾.

증례 1의 경우는 흉통의 양상은 비전형적이었으며 나이나 성별, 콜레스테롤 수치 등을 종합할 때 전통적인 고위험군은 아니었다. 관상동맥 CT상에서 관상동맥 질환이 없다고 판독되었으나, 외래 추적관찰 시에 다시 시행한 문진상 환자가 지속적이고 isosorbide dinitrate (Isoket[®]) 분무제에 호전되는 흉통을 호소하였기에 시행한 운동부하 검사상에서 심근허혈이 확실히 의심되었기 때문에 X-선 관상동맥 조영술을 시행하여 좌전하행지에 협착을 발견하였다. 이 환자의 경우 관상동맥 촬영시 심박수가 69회/분으로 빨라 영상의 질이 좋지 않았기 때문에 검사의 신뢰도가 떨어졌던 경우로, 적절한 영상을 얻기 위해서는 환자의 심박수를 적절한 범위로 유지하는 것이 중요함을 보여준다고 할 수 있다. 또한, 관상동맥협착을 완전히 배제할 수 없는 경우 운동부하검사같이 심근허혈을 기능적으로 검사할 수 있는 검사방법이 부가적인 도움을 줄 수 있음을 볼 수 있는 사례라 할 수 있다.

증례 2는 임상적으로 안정형 협심증이 의심되었으나 운동부하 검사상에서 애매한(equivocal) 결과를 보였으며 관상동맥 CT상에서 석회화 및 관상동맥 질환 소견이 없어 외래에서 경과관찰하던 중에 급격히 악화된 흉통으로 응급실로 내원한 경우였다. 그러나 X-선 관상동맥 조영술상에서 좌전하행지의 협착소견이 보여 불안정형 협심증 진단하에 중재시술을 받았다. 추후 해당부위에 대한 영상 분석시 관상동맥의 동맥경화가 의심되고 CT 혈관조영술의 영상의 질을 저하시킬 다른 요인도 확인되지 않아 판독오류에 의한 위음성일 가능성을 고려해 볼 수 있었다.

결론적으로, CT 혈관조영술의 음성예측도가 높다고는 하나 판독결과가 음성이라 할지라도 영상판독에 영향을 미치는

여러 요인을 이해하고 환자의 증상과 위험인자를 주의깊게 문진하는 것이 필요하며 또한 필요한 경우 관상동맥 질환 진단의 정확성을 향상시키기 위해 심근관류영상 같은 심근허혈을 기능적으로 확인할 수 있는 검사가 함께 이루어진다면 위음성과 위양성을 줄일 수 있을 것이다.

요 약

저자들은 관상동맥 CT 혈관조영술상 정상소견이었으나 단기 추적 중 심혈관계 사건이 발생한 증례를 경험하였기에 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

중심 단어: 관상동맥협착, 관상동맥조영술, 컴퓨터단층촬영

REFERENCES

- 1) Bastarrika G, Lee YS, Ruzsics B, Schoepf UJ. *Coronary CT angiography: applications. Radiol Clin North Am* 47:91-107, 2009
- 2) Bastarrika G, Thilo C, Headden GF, Zwerner PL, Costello P, Schoepf UJ. *Cardiac CT in the assessment of acute chest pain in the emergency department. AJR Am J Roentgenol* 193:397-409, 2009
- 3) Gaspar T, Halon DA, Lewis BS, Adawi S, Schliamser JE, Rubinshtein R, Flugelman MY, Peled N. *Diagnosis of coronary in-stent restenosis with multidetector row spiral computed tomography. J Am Coll Cardiol* 46:1573-1579, 2005
- 4) Malagutti P, Nieman K, Meijboom WB, van Mieghem CA, Pugliese F, Cademartiri F, Mollet NR, Boersma E, de Jaegere PP, de Feyter PJ. *Use of 64-slice CT in symptomatic patients after coronary bypass surgery: evaluation of grafts and coronary arteries. Eur Heart J* 28:1879-1885, 2007
- 5) Lesser JR, Flygenring B, Knickelbine T, Hara H, Henry J, Kalil A, Pelak K, Lindberg J, Pelzel J, Schwartz RS. *Clinical utility of coronary CT angiography: coronary stenosis detection and prognosis in ambulatory patients. Catheter Cardiovasc Interv* 69:64-72, 2007
- 6) Jacobs JE, Boxt LM, Desjardins B, Fishman EK, Larson PA, Schoepf J. *ACR practice guideline for the performance and interpretation of cardiac computed tomography (CT). J Am Coll Radiol* 3:677-685, 2006
- 7) Hamon M, Morello R, Riddell JW. *Coronary arteries: diagnostic performance of 16- versus 64-section spiral CT compared with invasive coronary angiography: meta-analysis. Radiology* 245:720-731, 2007
- 8) Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M, Carr JC, Gerstard NA, Gillam LD, Hodgson JM, Kim RJ, Lesser JR, Martin ET, Messer JV, Redberg RF, Rubin GD, Rumsfeld JS, Taylor AJ,

- Weigold WG, Woodard PK, Brindis RG, Douglas PS, Peterson ED, Wolk MJ, Allen JM. *ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. J Am Coll Cardiol 48:1475-1497, 2006*
- 9) Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, Goldstein JA. *Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. J Am Coll Cardiol 46:552-557, 2005*
 - 10) Pugliese F, Mollet NR, Runza G, van Mieghem C, Meijboom WB, Malagutti P, Baks T, Krestin GP, deFeyter PJ, Cademartiri F. *Diagnostic accuracy of non-invasive 64-slice CT coronary angiography in patients with stable angina pectoris. Eur Radiol 16:575-582, 2006*
 - 11) Oudkerk M, Stillman AE, Halliburton SS, Kalender WA, Mohlenkamp S, McCollough CH, Vliegenthart R, Shaw LJ, Stanford W, Taylor AJ, van Ooijen PM, Wexler L, Raggi P. *Coronary artery calcium screening: current status and recommendations from the European Society of Cardiac Radiology and North American Society for Cardiovascular Imaging. Eur Radiol 18: 2785-2807, 2008*
 - 12) Greenland P, LaBree L, Azen SP, Doherty TM, Detrano RC. *Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. JAMA 291:210-215, 2004*
 - 13) Ong TK, Chin SP, Liew CK, Chan WL, Seyfarth MT, Liew HB, Rapae A, Fong YY, Ang CK, Sim KH. *Accuracy of 64-row multidetector computed tomography in detecting coronary artery disease in 134 symptomatic patients: influence of calcification. Am Heart J 151:1323, e1-6, 2006*
 - 14) Brodoefel H, Reimann A, Burgstahler C, Schumacher F, Herberts T, Tsiflikas I, Schroeder S, Claussen CD, Kopp AF, Heuschmid M. *Noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography in an unselected patient collective: effect of heart rate, heart rate variability and coronary calcifications on image quality and diagnostic accuracy. Eur J Radiol 66:134-141, 2008*
 - 15) Pugliese F, Hunink MG, Gruszczynska K, Alberghina F, Malago R, van Pelt N, Mollet NR, Cademartiri F, Weustink AC, Meijboom WB, Witteman CL, de Feyter PJ, Krestin GP. *Learning curve for coronary CT angiography: what constitutes sufficient training? Radiology 251:359-368, 2009*
 - 16) Budoff MJ, Achenbach S, Berman DS, Fayad ZA, Poon M, Taylor AJ, Uretsky BF, Williams KA. *Task force 13: training in advanced cardiovascular imaging (computed tomography) endorsed by the American Society of Nuclear Cardiology, Society of Atherosclerosis Imaging and Prevention, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Cardiovascular Computed Tomography. J Am Coll Cardiol 51:409-414, 2008*
 - 17) Hoe JW, Toh KH. *A practical guide to reading CT coronary angiograms: how to avoid mistakes when assessing for coronary stenoses. Int J Cardiovasc Imaging 23:617-633, 2007*
 - 18) Sato A, Nozato T, Hikita H, Miyazaki S, Takahashi Y, Kuwahara T, Takahashi A, Hiroe M, Aonuma K. *Incremental value of combining 64-slice computed tomography angiography with stress nuclear myocardial perfusion imaging to improve noninvasive detection of coronary artery disease. J Nucl Cardiol 17:19-26, 2010*