



Clinical Value of Cardiovascular Calcifications on Non-Enhanced, Non-ECG-Gated Chest CT

비 조영증강 비 심전도동기 흉부 CT에서 발견되는 심혈관계 석회화의 임상적 가치

Tae Seop Choi, MD¹ , Hwan Seok Yong, MD^{1*} ,
Cherry Kim, MD² , Young Joo Suh, MD³ 

¹Department of Radiology, Korea University Guro Hospital, College of Medicine, Korea University, Seoul, Korea

²Department of Radiology, Korea University Ansan Hospital, College of Medicine, Korea University, Ansan, Korea

³Department of Radiology, Research Institute of Radiological Science, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Cardiovascular calcifications can occur in various cardiovascular diseases and can serve as a biomarker for cardiovascular event prediction. Advances in CT have enabled evaluation of calcifications in cardiovascular structures not only on ECG-gated CT but also on non-ECG-gated CT. Therefore, many studies have been conducted on the clinical relevance of cardiovascular calcifications in patients. In this study, we divided cardiovascular calcifications into three classes, i.e., coronary artery, thoracic aorta, and cardiac valve calcifications, which are closely associated with cardiovascular events. Further, we briefly described pericardial calcifications, which can be found incidentally. Since the start of lung cancer screening in Korea in the second half of 2019, the number of non-enhanced, non-ECG-gated, low-dose chest CT has been increasing, and the number of incidentally found cardiovascular calcifications has also been increasing. Therefore, understanding the relevance of cardiovascular calcifications on non-enhanced, non-ECG-gated, low-dose chest CT and their proper reporting are important for radiologists.

Index terms Tomography, X-Ray Computed; Incidental Findings; Coronary Artery Disease; Aorta, Thoracic; Heart Valves

서론

전 세계적으로 심혈관계 질환은 이환율과 사망률의 주요 원인 중 하나이다(1). 심혈관계

Received November 8, 2019

Revised December 22, 2019

Accepted March 24, 2020

*Corresponding author

Hwan Seok Yong, MD, PhD
Department of Radiology,
Korea University Guro Hospital,
College of Medicine,
Korea University,
148 Gurodong-ro, Guro-gu,
Seoul 08308, Korea.

Tel 82-2-2626-1338

Fax 82-2-863-9282

E-mail yhwanseok@naver.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID iDs

Tae Seop Choi 

[https://
orcid.org/0000-0003-1092-1981](https://orcid.org/0000-0003-1092-1981)

Hwan Seok Yong 

[https://
orcid.org/0000-0003-0247-8932](https://orcid.org/0000-0003-0247-8932)

Cherry Kim 

[https://
orcid.org/0000-0002-3361-5496](https://orcid.org/0000-0002-3361-5496)

Young Joo Suh 

[https://
orcid.org/0000-0002-2078-5832](https://orcid.org/0000-0002-2078-5832)

석회화는 죽상경화증, 만성신부전, 당뇨 등의 다양한 심혈관계 질환에 의해 나타난다(2). 흉부 전산화단층촬영(이하 CT)에서는 심장의 관상동맥, 판막, 대동맥, 근위부 목 혈관 등의 다양한 위치에서 석회화를 관찰할 수 있고 이러한 석회화를 평가하는 것은 임상적으로 환자의 심혈관 질환의 위험도를 평가하는데 도움을 준다. 예를 들어 심전도동기 심장 CT (이하 ECG-gated cardiac CT)에서 측정된 관상동맥 석회화는 심혈관계 질환 환자의 위험 분류와 미래 위험도를 예측하는데 도움이 된다(3). 또한 대동맥 석회화는 관상동맥 심장 질환, 뇌졸중의 위험과 관련되며(4) 심장 판막 석회화는 심혈관 질환 사망률과 연관된 것으로 알려져 있다(5, 6).

흉부 CT 영상에는 폐 이외에도 심장, 혈관, 근육, 뼈 등의 다양한 흉곽 내 구조물이 포함되고, CT의 촬영 건수가 늘어남에 따라 본래의 목적이 아닌 부수적인 소견들(incidental findings)의 보고가 증가하고 있다. CT 기술이 발전하면서 공간, 시간해상도가 점점 좋아지고 재구성 및 후처리 소프트웨어가 발전함에 따라 이전에 비해 CT 영상의 질이 현저하게 좋아졌다(7). 특히 스캔 시간이 짧아지고 움직임 인공물(motion artifact)이 줄어들면서, 현재 일반적으로 사용되는 CT 스캐너 사양에서 촬영한 비 심전도동기(non-ECG gated) 흉부 CT 영상에서도 어느 정도 심혈관계 구조물들을 구분하고 평가하는 것이 가능해졌다(8). 중환자실 환자 500명의 흉부 CT 중 총 403명(80.6%)에서 심혈관 관련 이상 소견이 우연히 발견되었고 그중 관상동맥 석회화는 95명(19.0%), 대동맥 석회화는 73명(14.6%), 판막 석회화는 28명(5.6%)이었다(9).

폐암 발생의 위험이 높은 고령의 흡연자에서 저선량 흉부 CT를 이용한 폐암 검진이 유용하다는 연구 결과가 국외에서 보고되면서(10), 국내에서도 2019년 하반기부터 폐암 발생 위험이 높은 고위험군에 대해 저선량 흉부 CT가 국가암검진으로 시행되고 있다. 폐암의 고위험군 대상자들은 폐암 외 폐 질환뿐만 아니라 심혈관 질환의 위험도가 상대적으로 높으며(11), National Lung Screening Trial (이하 NLST) 수검자들은 폐암보다도 심혈관 질환으로 더 많이 사망하였다(24.1% vs. 24.8%) (10). 따라서 폐암 검진의 대상이 되는 고위험군은 심혈관 질환에 대한 위험도 역시 높은 환자이기 때문에 폐암 검진 CT에서 우연히 발견되는 심혈관 석회화 또한 적지 않을 것으로 예상된다.

이번 종설에서는 비 조영증강 비 심전도동기 흉부 CT에서 우연히 발견되는 석회화들이 어떠한 임상적 의미를 가지고 있는지, 그리고 어떻게 측정하고 보고하는 것이 좋을지를 살펴보고자 한다.

관상동맥 석회화

관상동맥 석회화는 심혈관 사건 발생의 예측 인자이며 고령, 흡연자에서 특히 큰 상관성을 보인다(12, 13). 관상동맥 석회화는 죽상경화증을 반영하고 심혈관 질환뿐만 아니라 전 원인 사망률을 증가시키는 위험인자이다(14, 15). 관상동맥 석회화를 정량화한 아가스톤 점수가 높을수록 심혈관 사건 발생의 확률은 높아진다(16).

관상동맥 석회화는 심전도동기 CT에서 측정하여야 하지만 비 심전도동기 CT에서도 비교적 정확하게 측정할 수 있다. The Genetic Epidemiology of COPD (이하 COPDGene) 코호트의 50명 환자에 대해 심전도, 비 심전도동기 CT 두 검사를 비교한 연구에서 아가스톤 점수 카파 일치도는

0.90으로 높게 나타났다(17). 다른 연구에서는 483명에 대한 저선량 비 심전도동기 CT (120 kVp, 20 mAs)와 표준선량 심전도동기 CT (120 kVp, 150 mAs) 검사에서 아가스톤 점수로 석회화가 심한 정도를 4가지(0, 1~99, 100~399, ≥ 400)로 분류하였을 때 두 검사의 카파 일치도가 0.89로 높게 나타났고(18). 메타 분석에서는 두 검사를 통해 석회화가 심한 정도를 위와 같이 4가지로 분류하였을 때 카파 일치도는 0.89로 높게 나타났고, 비 심전도동기 CT에서 8.8%의 위음성이 있으며 19.1%의 점수가 상대적으로 낮게 측정되었다고 하였다(19).

관상동맥 석회화 평가에는 아가스톤 점수, 순위 점수(ordinal scoring), 육안 평가 등이 쓰인다(Table 1). 아가스톤 점수는 본래 심전도동기 CT에서 쓰이던 방법이지만 비 심전도동기 CT에서도 동일하게 쓰일 수 있다. 아가스톤 점수는 총 석회의 면적과 석회의 최대 밀도(maximum density)에 따른 가중 점수를 사용한다(20). 석회는 130 Hounsfield unit (이하 HU) 이상을 가지며 1 mm² 보다 큰 면적을 갖는 경우 계산한다. 석회의 가중점수는 130 HU 이상 200 HU 미만을 1, 200 HU 이상 300 HU 미만을 2, 300 HU 이상 400 HU 미만을 3, 400 HU 이상을 4로 계산하여, 석회의 면적과 가중점수를 곱한 뒤 모두 더하여 아가스톤 점수를 측정한다(21, 22). 순위 점수는 4개의 주요 관상동맥들(left main, left anterior descending, left circumflex, right coronary artery)에 대해 혹은 관상동맥을 더 자세히 10개의 분절(segment)로 나누어서 각각을 평가하고 모든 점수를 합산하여 점수를 표기한다. 각각의 관상동맥을 평가할 때 석회화가 없는 경우 0, 경도의 경우 1, 중등도의 경우 2, 고도의 경우를 3점으로 평가하여 점수를 계산할 수 있다(15, 23). 육안 평가는 특별한 소프트웨어가 필요하지 않은 가장 간단한 방법이지만 구체적인 평가 기준이 마련되어 있지 않다.

CT에서 석회화를 평가할 때에는 CT 감쇠계수(attenuation)에 영향을 줄 수 있는 여러 기술적

Table 1. Studies Assessing the Value of CACs on Non-ECG-Gated CT

Study	Population	Methods of CAC Assessment	CT Protocols	Findings
Rasmussen et al. (13)	1945 subjects from DLCST	Agatston score	120 kVp, 40 mAs	Prognostic factor of fatal/non-fatal CVEs in current and former smokers, independent of traditional CV risk factors
Jacobs et al. (14)	958 subjects from NELSON	Agatston score	According to BW ≤ 80 kg: 120 kVp, 30 mAs, > 80 kg: 140 kVp, 30 mAs	Independent predictor of ACM and CVEs
Shemesh et al. (15)	8782 subjects screening for lung cancer in New York State	Ordinal score	140 kVp or less, 80 mAs	Significant predictor of CV death
Chiles et al. (23)	1575 subjects from NLST	Visual score, Ordinal score, Agatston score	120 kVp, 40–80 mAs (depending on body habitus)	Visual assessment can make risk stratification, which is comparable to Agatston score and CAC was strongly associated with outcome
Sverzellati et al. (61)	1159 subjects from MILD	Agatston score	120 kVp, 30 mAs	Better predictor of CVE, ACM than FEV1, emphysema extent

ACM = all-cause mortality, BW = body weight, CAC = coronary artery calcification, CV = cardiovascular, CVE = cardiovascular event, DLCST = Danish Lung Cancer Screening Trial, FEV1 = forced expiratory volume in first second, MILD = Multicentric Italian Lung Detection, NELSON = Nederlands-Leuvens Longkanker Screenings Onderzoek, Dutch-Belgian Randomized Lung Cancer Screening Trial, NLST = National Lung Screening Trial

인자들을 고려해야 한다. CT를 촬영할 때 사용한 관전압이 낮을수록 석회의 CT 감쇠계수(attenuation)는 높게 측정된다. 같은 팬텀을 사용하여 80 kVp 관전압에서 측정한 석회의 CT 감쇠계수는 120 kVp에서 측정한 감쇠계수 보다 높게 측정된다(24). 커널의 종류와 재구성 방법에 따라서도 석회의 아가스톤 점수는 달라질 수 있다. 커널이나 재구성의 방법이 영상의 노이즈를 증가시키는 경우 아가스톤 점수는 증가한다. Toshiba의 filter convolution (이하 FC) 종류 중 FC02와 FC08을 비교하였을 때 FC08에서 석회화 점수가 더 높게 측정되었다(25). Field of view (FOV)는 커질수록 절편 두께(slice thickness)는 두꺼울수록 아가스톤 점수는 더 낮게 측정된다(25, 26).

어떠한 관상동맥 석회화 평가 방법을 사용했는지에 따라 석회화 점수는 다를 수 있지만 서로 다른 방법들도 환자의 석회화 정도를 평가할 때에는 높은 일치도를 보인다. NLST 환자 자료를 이용하여 관상동맥 석회화를 육안적 평가와 아가스톤 점수를 이용해 각각 심혈관 질환 위험도를 4가지[없음(none), 경도(mild), 중등도(moderate), 고도(severe)]로 분류하였을 때, 카파 일치도는 0.75로 나타났고 분류가 정확히 일치하는 것은 73%, 한 단계 분류 차이가 나는 것까지 모두 고려하였을 때는 99.7%로 높은 일치도를 보였다(16). 반면 우리나라의 한국 폐암 검진 시범사업 검진자에 대한 석회화 평가에서 평가자 간 일치도에 대한 연구에 따르면 위험도를 경도 이하와 중등도 이상으로 나뉘었을 때 순위 점수법들(ordinal scoring)은 상당한 카파 일치도(0.67~0.70)를 보였고 육안적 평가는 0.45로 다른 방법에 비해 다소 낮게 나타났다. 이 연구에서는 여러 석회화 평가법들(주요 관상동맥을 4가지로만 나눠 평가, 분절로 더 세분하여 평가, 육안 평가) 중에서 관상동맥을 4가지로 나눠 평가하는 동맥 기반 평가법이 평가 시간이 짧고 평가자 간 일치도가 좋은 방법이라 하였다(27).

임상적으로 40세 이상 환자의 비 조영증강 흉부 CT에서 관상동맥 석회화가 발견되면 2016년 The Society of Cardiovascular Computed Tomography and the Society of Thoracic Radiology (이하 SCCT/STR) 가이드라인은 관상동맥 석회화를 평가하고 보고할 것을 권장하였다. 석회화 평가는 없음, 경도(mild), 중등도(moderate), 중등도 및 고도(moderate to severe)의 단계로 나누었으며 아가스톤 점수의 경우 경도는 1~99, 중등도는 100~299, 중등도 및 고도는 300 이상으로 설정하였다(16). 국내의 폐암 검진 저선량 흉부 CT에서 관상동맥 석회화는 폐암 외 중요 소견 s-modifier로 포함되어 있으며 육안적 평가를 통해 중등도 이상의 석회화일 때 보고하도록 협의되었다(28).

또한 관상동맥 석회화 평가는 죽상경화 심혈관 질환 환자의 관리에도 중요한 역할을 할 수 있다(Table 2). 10년 죽상경화 심혈관 질환 위험도가 경도(5~7.5%)에서 중등도(7.5~20%)인 환자에서 석회화가 없는 군과 있는 군을 비교하였을 때, 석회화가 있는 군에서 스타틴(statin)이 심혈관 질환 사건 발생률을 유의미하게 낮추주었다. 그러므로 석회화의 유무에 따라 경도, 중등도의 위험도를 가진 환자에서는 질환의 관리가 달라질 수 있다. 본래 석회화가 없는 경우 경도, 중등도 위험도의 환자는 스타틴이 추천되지 않으나, 석회화가 있는 경우 경도의 환자에서는 스타틴의 사용이 고려될 수 있으며 중등도의 환자에서는 스타틴의 사용이 추천된다(29). 석회화의 유무뿐만 아니라 아가스톤 점수에 따라서도 환자의 관리가 달라질 수 있다. 2018 혈중 콜레스테롤 관리에 대한 AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA 가이드라인은 당뇨

Table 2. Role of CACs in Primary Prevention of ASCVD

Study	Findings
Greenland et al. (29) Statin therapy guide using 10-year ASCVD risk estimate + CAC score	1. 10 year ASCVD risk percent ≥ 5 - $< 7.5\%$ - If CAC score = 0, statin not recommended - If CAC score > 0 , consider for statin 2. 10 year ASCVD risk percent ≥ 7.5 - $< 20\%$ - If CAC score = 0, statin not recommended - If CAC score > 0 , recommend statin
Grundy et al. (30) 2018 AHA/ACC/AACVPR/ AAPA/ABC/ACPM/ ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA Guideline	On primary prevention (statin initiation) Age 40-75 years, LDL ≥ 70 - < 190 mg/dL, without DM, 10 year ASCVD risk percent ≥ 7.5 - $< 20\%$ "Intermediate Risk" If risk decision is uncertain: Consider measuring CAC in selected adults: 1. CAC = zero (lower risk; consider no statin, unless DM, family history of premature CHD, cigarette smoking) 2. CAC = 1-99 favor statin (especially after age 55) 3. CAC ≥ 100 and/or ≥ 75 th percentile, initiate statin therapy

AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA = American Heart Association, American College of Cardiology, American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation, American Association Academy of Physician Assistants, Association of Black Cardiologists, American College of Preventive Medicine, American Diabetes Association, American Geriatrics Society, American Pharmacists Association, American Society for Preventive Cardiology, National Lipid Association, Preventive Cardiovascular Nurses Association, ASCVD = atherosclerotic cardiovascular disease, CAC = coronary artery calcification, CHD = coronary heart disease, DM = diabetes mellitus, LDL = low-density lipoprotein cholesterol

병이 없는 혈중 저밀도 지질단백질이 70~190 mg/dL인 40~75세 환자가 10년 죽상경화 심혈관 질환 위험도가 중등도(7.5~20%) 라면 위험 강화요인(risk enhancer)이 있는지를 고려하여 중등도 강도의 스타틴을 사용할 수 있다고 하였다. 하지만 환자에 따라 이러한 위험도 결정이 확실치 않을 때 관상동맥 석회화 점수를 통해 치료방침을 결정할 수 있다. 석회화 점수가 0이고, 당뇨나 조기 심장 질환의 가족력 혹은 현재 흡연력의 위험인자가 없다면 위험도를 낮춰 스타틴 치료를 보류할 수 있다. 또한 55세 이상의 환자에서 석회화 점수가 1~99라면 스타틴 사용을 고려할 수 있으며, 석회화 점수 100 이상, 혹은 75 백분위수 이상인 환자의 경우에는 스타틴 치료를 시행할 것을 권장하였다(30).

흉부 대동맥 석회화

혈관의 석회화는 크게 내막(intima)과 중막(media)을 주로 침범하는 2가지의 형태로 나눌 수 있다. 죽상경화증은 관상 동맥뿐만이 아닌 대동맥과 같은 큰 동맥의 내막에서도 만성적인 염증과 죽상경화판(plaque)을 만들며 지질 및 세포외기질의 축적 및 석회 침착 등을 촉진한다. 중막의 석회화는 대표적으로 당뇨병, 만성신부전에서 나타난다(2). 죽상경화증은 내피세포에 염증을 일으키며 죽상경화판이 파열됨에 따라 그로 인한 혈전색전증이 나타날 수 있고, 중막의 석회화는 동맥을 뻗뻗하게 만들고 수용력을 감소시키며 팽창성을 제한시킨다(31).

CT 스캔 시간 동안 흉부 대동맥은 관상동맥보다 움직임이 크지 않다. 그러므로 흉부 대동맥 석회화는 비 심전도동기 CT에서도 비교적 정확하게 측정할 수 있다. COPDGene 코호트 환자 50명

에 대해 비 심전도동기 CT와 심전도동기 CT에서 각각 평가한 흉부 대동맥 석회화를 비교하였을 때 두 석회화 점수는 유의미한 상관관계와 높은 일치도(0.94)를 보였고 또한 거의 비슷한 중앙값 변동성(median variability, 8% vs. 9%)을 보였다. 따라서 이러한 결과는 앞서 살펴본 관상동맥 석회화와 마찬가지로 비 심전도동기 CT를 통한 석회화 평가를 통해 추가적인 검사 없이도 환자의 죽상경화 질환 위험도를 분류할 수 있다는 것을 보여주었다(17). 이러한 것을 바탕으로 환자들의 흉부 CT에서 보이는 관상동맥 외 다양한 석회화를 평가하여 환자의 심혈관 질환 위험도를 예측하려는 연구가 많이 진행되고 있다.

대동맥 석회화를 측정하는 방법은 관상동맥의 석회화를 평가하는 방법과 동일한 방법들이 많이 쓰이고 있다. 대표적으로 아가스톤 점수가 많이 사용되고(Table 3), 부피 점수(volume score), 등가 질량 혹은 질량 점수(equivalent mass or mass score), 육안적 평가와 같은 여러 방법들이 쓰인다. 부피 점수는 석회의 부피를 계산하여 점수를 매기는 것이고(32) 등가 질량 혹은 질량 점수는 석회의 부피와 평균 HU를 고려하여, 팬텀에서 얻어낸 교정 인자(calibration factor)를 통해 석회의 질량을 측정하는 방법이다(21, 33).

예후 인자로서 흉부 대동맥 석회화가 지니는 가치에 대해서는 많은 연구들이 있다. 심혈관 질환과 관련하여 대동맥 석회화는 안정성 협심증 환자에서 심혈관 질환 사건 발생 및 사망률을 높이는 위험인자이다(34). 또한 이전의 잘 알려진 나이, 성별, 고혈압, 당뇨나 흡연력 등의 임상적인 위험인자에 더하여 일반 인구에서 대동맥 석회화는 뇌졸중의 발생률을 높인다(35). 다른 위험인자나 관상동맥 석회화를 고려하더라도 여성에서는 대동맥 석회화가 미래 심혈관 질환 위험도를 유의미하게 예측하였고(36), 대동맥 석회화는 운동 후 수축기 혈압과 관련이 있으며 이는 특히 뇌졸중을 예측하는 인자였다(37). 대동맥 판막 치환술을 받은 심한 대동맥판 협착 환자에서 대동맥 석회화는 좌심실 재구성 여부 및 예후를 예측하는 인자였다(38). 또한 하행대동맥의 석회화는 말초 혈관 질환의 유무와도 연관되는 인자였다(39).

대동맥 석회화와 관상동맥 석회화는 서로 강한 상관관계를 가지며 이는 두 혈관 모두 죽상경화증의 동일한 위험인자에 노출되기 때문이다(40). 두 석회화는 모두 심혈관계 질환 특히 관상동맥

Table 3. Studies Assessing the Value of TACs on Non-ECG-Gated CT

Study	Population	Methods of TAC Assessment	CT Protocols	Findings
Eisen et al. (34)	361 patients with stable angina pectoris	Binary, agatston score	120 kVp (peak), 210 mAs	Increase risk of death and CVD
Jacobs et al. (41)	7757 subjects from NELSON	Agatston score	According to BW ≤ 80 kg: 120 kVp, 30 mAs, > 80 kg: 140 kVp, 30 mAs	Stronger association with non-cardiac events than CAC
Lessmann et al. (42)	5718 subjects from NLST	Volume score, agatston score	120 kVp, 40–80 mAs (depending on body habitus)	CAC is strongly associated with CHD, whereas TAC is especially associated with extra-cardiac vascular mortality

BW = body weight, CAC = coronary artery calcification, CHD = coronary heart disease, CVD = cardiovascular disease, NELSON = Netherlands-Leuven Longkanker Screenings Onderzoek, Dutch-Belgian Randomized Lung Cancer Screening Trial, NLST = National Lung Screening Trial, TAC = thoracic aorta calcification

심장 질환과 연관이 있는 것으로 보고된 바 있다(36, 41, 42). MultiEthnic Study of Atherosclerosis (이하 MESA) Trial을 분석한 연구에 따르면 여성에서 흉부 대동맥 석회화는 관상동맥 석회화 정도를 보정하였을 때도 관상동맥 심장 질환의 위험률을 2.15배 높였다(36). 하지만 다른 연구들에서는 여러 임상적인 위험인자들과 관상동맥 석회화를 모두 보정한 후에는 흉부 대동맥 석회화는 관상동맥 심장 질환 발생과는 연관성이 없었다고 보고하기도 하였다(43, 44). 그러므로 현재로서는 대동맥 석회화가 여러 임상적 위험인자 및 관상동맥 석회화를 모두 고려하였을 때 관상동맥 심장 질환 환자에 대해 더 추가적인 이득이 있는지에 대해서는 근거가 아직 부족하고 연구가 더 필요하다.

그 외에 대동맥 석회화는 관상동맥 석회화보다 심장 외 심혈관 질환 대해 더 높은 관련성 보인다는 있다는 연구들이 있다. Dutch-Belgian Randomized Lung Cancer Screening Trial (이하 NELSON) 연구를 분석한 바에 따르면 대동맥 석회화는 심장 외 혈관 질환(뇌졸중, 대동맥류, 말초동맥폐쇄증)에서 관상동맥 석회화보다 더 큰 상관관계를 보였다(41). 역시 NLST 연구를 분석한 것에서도 심장 질환 외 심혈관 질환의 사망률은 관상동맥 석회화보다 대동맥 석회화가 더 관련되어 있어 있었다(42).

임상적으로는 2016년 SCCT/STR 가이드라인에서 40세 이상 환자의 모든 비 조영증강 흉부 CT에서 흉부 대동맥 석회화를 평가하고 보고하는 것은 합리적일 수 있다고 하였다(45). 그리고 관상동맥의 수술이나 여타 임상적 이유로 대동맥에 질환이 의심되어 흉부 CT를 촬영한 경우 대동맥의 석회화를 보고하는 것이 중요할 것이다. 우리나라의 폐암 검진 사업에서 흉부 대동맥 석회화는 폐암 외 중요 소견으로 보고해야 되는 대상에 포함되지는 않았다(28).

심장판막 석회화

심장판막의 평가에서 CT는 심장판막의 석회화나 형태 변화뿐만 아니라 심장 질환에 의한 심장의 형태 변화를 같이 보여주는 장점이 있다(46). 대동맥판막 협착에서 석회화는 많이 발견되며 이러한 석회화의 정도가 심할수록 협착의 정도도 심하게 나타난다(47). CT에서는 대동맥 판막의 변화뿐만 아니라 좌심실 비대나 오름대동맥의 확장 여부 등을 같이 살펴볼 수 있다는 장점이 있다. 승모판 석회화는 크게 두 가지로 나뉘는데첨판(leaflet) 석회화와 고리(annulus) 석회화이다. 첨판 석회화는 류마티스 승모판 협착의 특징이며(48) 고리 석회화는 주로 만성적 퇴행성 변화와 연관된 것으로 알려져 있다(49). 삼첨판이나 폐동맥 판막 등에서도 석회화가 관찰될 수 있지만 그 빈도는 위 두 판막에 비해 흔하지 않다.

판막의 석회화를 정확히 측정하는 방법으로 심전도동기 CT 영상에서 아가스톤 점수법을 사용하는 것이 권장된다(50). 비 심전도동기 CT에서도 아가스톤 점수를 이용한 연구가 있고(Table 4), 육안적으로 석회화가 관찰되는 판막 첨판의 개수에 따라 중등도를 나누기도 한다(51). 우리나라에서 진행된 6338명의 무증상 고령 흡연력이 있는 환자에서 시행한 저선량 폐암 검진 CT 연구 결과에 따르면, 대동맥 판막 석회화는 6.4%에서 발견되었고, 아가스톤 점수를 이용하여 대동맥 판막 협착이 있는지를 판별하였을 때 진단의 민감도가 90.0%, 특이도가 83.2%로 높게 나타났다. 또한

Table 4. Studies Assessing the Value of Cardiac VCs on Non-ECG-Gated CT

Study	Population	Methods of VC Assessment	CT Protocols	Findings
Cowell et al. (47)	157 patients with AS	Agatston score	Multi-slice helical scanner, 2.7 mm slices, pitch of 0.7, increment of 1.4 mm during held inspiration, No specific mention about kVp or mAs	AVC is closely associated with severity of AS
Willeminck et al. (54)	311 subjects from NELSON	Volume score	According to BW ≤ 80 kg: 120 kVp, 30 mAs, > 80 kg: 140 kVp, 30 mAs	AVC is a predictor for future CVE, No added prognostic value beyond age, number of pack years, current smoking status, CAC and TAC

AS = aortic valve stenosis, AVC = aortic valve calcification, BW = body weight, CAC = coronary artery calcification, CVE = cardiovascular event, NELSON = Nederlands-Leuvens Longkanker Screenings Onderzoek, Dutch-Belgian Randomized Lung Cancer Screening Trial, TAC = thoracic aorta calcification, VC = valve calcification

저선량 CT와 심전도동기 CT의 아가스톤 점수는 서로 강한 상관관계를 보였다(52). 비 심전도동기 저선량 CT에서 대동맥판 석회화는 평가자 간 일치도가 0.94로 높게 나타났으나 승모판 석회화의 경우 평가자 간 일치도가 0.56부터 0.97까지 비교적 낮고 다양하게 나타났는데, 이는 비 심전도동기 CT에서 승모판 석회화 평가가 대동맥판과 비교할 때 어렵다는 것을 보여주는 결과이다(53).

심장판막 석회화는 심혈관계 질환 사건이 있는 사람에게서 없는 사람에 비해 더 많이 발견된다. NELSON 연구의 흡연력이 있는 환자군에 대해 조사한 바에 따르면 심혈관계 질환 사건이 있었던 경우 31.7%, 없었던 경우 20.4%가 대동맥판 석회화를 가지고 있었다. 승모판의 경우 심혈관계 질환의 사건이 있었던 경우 5.9%, 없었던 경우 2.5%가 승모판 석회화를 가지고 있었다. 대동맥판의 석회화를 단독으로 평가한다면 심혈관 질환의 사망률을 높이는 위험인자이지만, 흡연력, 관상동맥 석회화 그리고 대동맥 석회화를 모두 고려했을 때는 판막 석회화는 추가적인 예후 인자로서 효용성이 없는 것으로 보고되었다(54). 반면 MESA 연구에서 45~84세 사이의 6685명의 환자에 대해 조사한 논문에 따르면 대동맥판막 석회화는 관상동맥 석회화와 프래밍험 위험인자를 보정하고도 심혈관질환 사망률을 예측하는데 추가적인 효용성을 보였다(5). 또한 승모판 석회화의 경우 프래밍험 위험인자와 관상동맥 석회화는 독립적으로 주요 심혈관계 질환과 전 원인 사망률에 대해 관계가 있는 것으로 보고되었다(6).

현재 임상적으로 고령의 흡연자를 대상으로 하는 폐암 검진에서 심장 판막 석회화를 측정하는 것은 환자의 흡연력이나 관상 동맥, 대동맥 석회화가 이미 평가가 되었다면 효용성은 떨어질 수 있다(54). 하지만 개인의 위험인자가 명확치 않은 일상적인 임상 상황을 고려할 때 그리고 우연히 발견된 심한 대동맥판, 승모판 석회화는 판막의 협착이나 추후 심한 협착으로 진행되는 것에 대한 단서가 될 수 있기 때문에 판막의 석회화를 보고하는 것이 환자의 관리에 도움이 될 수 있다(51, 55). 이러한 판막의 심한 석회화를 보고하는 것은 추후 심장초음파 검사가 필요한 군을 설정하는 것에도 도움을 줄 수 있다(52).

흉부 CT에서 심장 판막의 석회화를 평가하는 것 이외에도 이를 포함하여 전체적으로 관상동맥의 석회화를 평가하는 것이 환자의 관리에 도움을 줄 수 있다. MESA 연구 환자에 대해 관상동맥의 석회화[대동맥판, 승모판, 흉부 대동맥, 대동맥 뿌리(aortic root) 석회화]의 유무를 평가하였을

때 이는 심혈관계 질환의 사망률과 큰 상관관계를 보였으며(56), 증가할수록 뇌경색, 전체 뇌졸중, 그리고 일과성허혈 발작의 발생률도 높게 나타났다(57). 그러므로 관상동맥 외 석회화를 평가하는 것은 언급한 위의 질환들의 위험도를 평가하거나 혹은 치료 결정을 하는데 있어 도움을 줄 수 있을 것이다.

심막 석회화(Pericardial Calcification)

관상동맥, 흉부 대동맥, 판막 석회 외에도 심장의 심막에서도 석회가 발견될 수 있다. 이러한 심막 석회화가 나타날 수 있는 상황으로 결핵이나 바이러스 등에 의한 협착심막염(constrictive pericarditis), 외상, 심장 수술, 방사선 치료, 결합조직병(connective tissue disease), 혹은 악성 종양 등 여러 원인이 있을 수 있다(58-60). 심막 석회화는 대부분 증상이 없지만 환자가 협착심막염이 의심되는 경우라면 주의 깊게 살펴보아야 할 것이다(58).

결론

이번 증설에서는 심혈관의 석회화를 크게 관상동맥, 대동맥, 심장판막의 석회화로 나누어 기술하였다. CT의 기술이 발전하면서 비 심전도동기 CT에서도 어느 정도 심혈관 구조들의 구분이 가능해졌으며 석회화의 측정도 가능해졌다. 국내 폐암 검진 사업이 2019년 하반기부터 시작됨에 따라 심혈관 질환의 고위험군인 고령 흡연자들의 비 심전도동기 비조영증강 저선량 흉부 CT의 촬영 빈도가 증가할 것이다. 따라서, 이러한 영상에서 보이는 심혈관계 석회화가 어떠한 의미를 가지는지 이해하고 적절히 평가하는 것이 환자의 관리를 위하여 중요할 것이다.

Author Contributions

Conceptualization, Y.H.S.; data curation, K.C., S.Y.J.; investigation, C.T.S.; methodology, all authors; project administration, Y.H.S.; supervision, Y.H.S.; visualization, C.T.S.; writing—original draft, C.T.S.; and writing—review & editing, Y.H.S., K.C., S.Y.J.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

REFERENCES

1. Wang Y, Osborne MT, Tung B, Li M, Li Y. Imaging cardiovascular calcification. *J Am Heart Assoc* 2018; 7:e008564
2. Zhu D, Mackenzie NC, Farquharson C, Macrae VE. Mechanisms and clinical consequences of vascular calcification. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2012;3:95
3. Kavousi M, Elias-Smale S, Rutten JH, Leening MJ, Vliedgenhart R, Verwoert GC, et al. Evaluation of newer risk markers for coronary heart disease risk classification: a cohort study. *Ann Intern Med* 2012;156:438-444
4. Iribarren C, Sidney S, Sternfeld B, Browner WS. Calcification of the aortic arch: risk factors and association with coronary heart disease, stroke, and peripheral vascular disease. *JAMA* 2000;283:2810-2815
5. Owens DS, Budoff MJ, Katz R, Takasu J, Shavelle DM, Carr JJ, et al. Aortic valve calcium independently predicts coronary and cardiovascular events in a primary prevention population. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:619-625

6. Hoffmann U, Massaro JM, D'Agostino RB Sr, Kathiresan S, Fox CS, O'Donnell CJ. Cardiovascular event prediction and risk reclassification by coronary, aortic, and valvular calcification in the Framingham Heart Study. *J Am Heart Assoc* 2016;5:e003144
7. Eijssvoegel NG, Hendriks BMF, Park HB, Altintas S, Muhl C, Horehledova B, et al. The role of standard non-ECG gated chest CT in cardiac assessment: design and rationale of the Cardiac Pathologies in standard chest CT (CaPaCT) study. *Eur Radiol Exp* 2018;2:9
8. Secchi F, Di Leo G, Zanardo M, Ali M, Cannà PM, Sardanelli F. Detection of incidental cardiac findings in noncardiac chest computed tomography. *Medicine (Baltimore)* 2017;96:e7531
9. Kuetting D, Müller A, Feisst A, Luetkens J, Dabir D, Schild HH, et al. Incidental cardiac findings in non-electrocardiogram-gated thoracic computed tomography of intensive care unit patients: assessment of prevalence and underreporting. *J Thorac Imaging* 2018;33:168-175
10. National Lung Screening Trial Research Team, Aberle DR, Adams AM, Berg CD, Black WC, Clapp JD, et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med* 2011;365:395-409
11. Kucharczyk MJ, Menezes RJ, McGregor A, Paul NS, Roberts HC. Assessing the impact of incidental findings in a lung cancer screening study by using low-dose computed tomography. *Can Assoc Radiol J* 2011;62:141-145
12. Greenland P, Bonow RO, Brundage BH, Budoff MJ, Eisenberg MJ, Grundy SM, et al. ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to Update the 2000 Expert Consensus Document on Electron Beam Computed Tomography) developed in collaboration with the Society of Atherosclerosis Imaging and Prevention and the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:378-402
13. Rasmussen T, Køber L, Abdulla J, Pedersen JH, Wille MM, Dirksen A, et al. Coronary artery calcification detected in lung cancer screening predicts cardiovascular death. *Scand Cardiovasc J* 2015;49:159-167
14. Jacobs PC, Gondrie MJ, Van der Graaf Y, De Koning HJ, Isgum I, Van Ginneken B, et al. Coronary artery calcium can predict all-cause mortality and cardiovascular events on low-dose CT screening for lung cancer. *AJR Am J Roentgenol* 2012;198:505-511
15. Shemesh J, Henschke CI, Shaham D, Yip R, Farooqi AO, Cham MD, et al. Ordinal scoring of coronary artery calcifications on low-dose CT scans of the chest is predictive of death from cardiovascular disease. *Radiology* 2010;257:541-548
16. Hecht HS, Cronin P, Blaha MJ, Budoff MJ, Kazerooni EA, Narula J, et al. 2016 SCCT/STR guidelines for coronary artery calcium scoring of noncontrast noncardiac chest CT scans: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography and Society of Thoracic Radiology. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2017;11:74-84
17. Budoff MJ, Nasir K, Kinney GL, Hokanson JE, Barr RG, Steiner R, et al. Coronary artery and thoracic calcium on noncontrast thoracic CT scans: comparison of ungated and gated examinations in patients from the COPD Gene cohort. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2011;5:113-118
18. Wu MT, Yang P, Huang YL, Chen JS, Chuo CC, Yeh C, et al. Coronary arterial calcification on low-dose ungated MDCT for lung cancer screening: concordance study with dedicated cardiac CT. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190:923-928
19. Xie X, Zhao Y, De Bock GH, De Jong PA, Mali WP, Oudkerk M, et al. Validation and prognosis of coronary artery calcium scoring in nontriggered thoracic computed tomography: systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:514-521
20. Callister TQ, Cooil B, Raya SP, Lippolis NJ, Russo DJ, Raggi P. Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method. *Radiology* 1998;208:807-814
21. Blaha MJ, Mortensen MB, Kianoush S, Tota-Maharaj R, Cainzos-Achirica M. Coronary artery calcium scoring: is it time for a change in methodology? *JACC Cardiovasc Imaging* 2017;10:923-937
22. Deprez FC, Vlassenbroek A, Ghaye B, Raaijmakers R, Coche E. Controversies about effects of low-kilovoltage MDCT acquisition on Agatston calcium scoring. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2013;7:58-61
23. Chiles C, Duan F, Gladish GW, Ravenel JG, Baginski SG, Snyder BS, et al. Association of coronary artery calcification and mortality in the national lung screening trial: a comparison of three scoring methods. *Radiology* 2015;276:82-90
24. Thomas CK, Mühlenbruch G, Wildberger JE, Hohl C, Das M, Günther RW, et al. Coronary artery calcium scor-

- ing with multislice computed tomography: in vitro assessment of a low tube voltage protocol. *Invest Radiol* 2006;41:668-673
25. Wan YL, Tsay PK, Wu PW, Juan YH, Tsai HY, Lin CY, et al. Impact of filter convolution and displayed field of view on estimation of coronary Agatston scores in low-dose lung computed tomography. *Int J Cardiol* 2017; 236:451-457
 26. Kim SM, Chung MJ, Lee KS, Choe YH, Yi CA, Choe BK. Coronary calcium screening using low-dose lung cancer screening: effectiveness of MDCT with retrospective reconstruction. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190:917-922
 27. Suh YJ, Lee JW, Shin SY, Goo JM, Kim Y, Yong HS. Coronary artery calcium severity grading on non-ECG-gated low-dose chest computed tomography: a multiple-observer study in a nationwide lung cancer screening registry. *Eur Radiol* 2020 [In press] doi: <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06707-x>
 28. Yoon SH, Hong J, Hwang EJ, Kim H, Lim HJ, Suh YJ, et al. Significant abnormalities other than lung cancer in Korean lung cancer CT screening. *J Korean Soc Radiol* 2019;80:837-848
 29. Greenland P, Blaha MJ, Budoff MJ, Erbel R, Watson KE. Coronary calcium score and cardiovascular risk. *J Am Coll Cardiol* 2018;72:434-447
 30. Grundy SM, Stone NJ, Bailey AL, Beam C, Birtcher KK, Blumenthal RS, et al. 2018 AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA Guideline on the management of blood cholesterol: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 2019;139:e1082-e1143
 31. Lanzer P, Boehm M, Sorribas V, Thiriet M, Janzen J, Zeller T, et al. Medial vascular calcification revisited: review and perspectives. *Eur Heart J* 2014;35:1515-1525
 32. McCollough CH, Ulzheimer S, Halliburton SS, Shanneik K, White RD, Kalender WA. Coronary artery calcium: a multi-institutional, multimanufacturer international standard for quantification at cardiac CT. *Radiology* 2007;243:527-538
 33. Yoon HC, Greaser LE 3rd, Mather R, Sinha S, McNitt-Gray MF, Goldin JG. Coronary artery calcium: alternate methods for accurate and reproducible quantitation. *Acad Radiol* 1997;4:666-673
 34. Eisen A, Tenenbaum A, Koren-Morag N, Tanne D, Shemesh J, Imazio M, et al. Calcification of the thoracic aorta as detected by spiral computed tomography among stable angina pectoris patients: association with cardiovascular events and death. *Circulation* 2008;118:1328-1334
 35. Hermann DM, Lehmann N, Gronewold J, Bauer M, Mahabadi AA, Weimar C, et al. Thoracic aortic calcification is associated with incident stroke in the general population in addition to established risk factors. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;16:684-690
 36. Budoff MJ, Nasir K, Katz R, Takasu J, Carr JJ, Wong ND, et al. Thoracic aortic calcification and coronary heart disease events: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *Atherosclerosis* 2011;215:196-202
 37. Cho IJ, Chang HJ, Cho I, Heo R, Lee SE, Shim CY, et al. Association of thoracic aorta calcium score with exercise blood pressure response and clinical outcomes in elderly individuals: differential impact of aorta calcification compared with coronary artery calcification. *J Am Heart Assoc* 2016;5:e003131
 38. Cho IJ, Chang HJ, Heo R, Kim IC, Sung JM, Chang BC, et al. Association of thoracic aorta calcium score with left ventricular hypertrophy and clinical outcomes in patients with severe aortic stenosis after aortic valve replacement. *Ann Thorac Surg* 2017;103:74-81
 39. Churchill TW, Rasanian SP, Rafeek H, Mulvey CK, Terembula K, Ferrari V, et al. Ascending and descending thoracic aorta calcification in type 2 diabetes mellitus. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2015;9:373-381
 40. Takasu J, Budoff MJ, O'Brien KD, Shavelle DM, Probstfield JL, Carr JJ, et al. Relationship between coronary artery and descending thoracic aortic calcification as detected by computed tomography: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Atherosclerosis* 2009;204:440-446
 41. Jacobs PC, Prokop M, Van der Graaf Y, Gondrie MJ, Janssen KJ, De Koning HJ, et al. Comparing coronary artery calcium and thoracic aorta calcium for prediction of all-cause mortality and cardiovascular events on low-dose non-gated computed tomography in a high-risk population of heavy smokers. *Atherosclerosis* 2010;209:455-462
 42. Lessmann N, De Jong PA, Celeng C, Takx RAP, Viergever MA, Van Ginneken B, et al. Sex differences in coronary artery and thoracic aorta calcification and their association with cardiovascular mortality in heavy smokers. *JACC Cardiovasc Imaging* 2019;12:1808-1817
 43. Meissner I, Khandheria BK, Sheps SG, Schwartz GL, Wiebers DO, Whisnant JP, et al. Atherosclerosis of the aorta: risk factor, risk marker, or innocent bystander? A prospective population-based transesophageal

- echocardiography study. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:1018-1024
44. Desai MY, Cremer PC, Schoenhagen P. Thoracic aortic calcification: diagnostic, prognostic, and management considerations. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018;11:1012-1026
 45. Hecht H, Blaha MJ, Berman DS, Nasir K, Budoff M, Leipsic J, et al. Clinical indications for coronary artery calcium scoring in asymptomatic patients: expert consensus statement from the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2017;11:157-168
 46. Kanza RE, Allard C, Berube M. Cardiac findings on non-gated chest computed tomography: a clinical and pictorial review. *Eur J Radiol* 2016;85:435-451
 47. Cowell SJ, Newby DE, Burton J, White A, Northridge DB, Boon NA, et al. Aortic valve calcification on computed tomography predicts the severity of aortic stenosis. *Clin Radiol* 2003;58:712-716
 48. Mahnken AH, Mühlenbruch G, Das M, Wildberger JE, Kühl HP, Günther RW, et al. MDCT detection of mitral valve calcification: prevalence and clinical relevance compared with echocardiography. *AJR Am J Roentgenol* 2007;188:1264-1269
 49. Nair CK, Thomson W, Ryschon K, Cook C, Hee TT, Sketch MH. Long-term follow-up of patients with echocardiographically detected mitral anular calcium and comparison with age- and sex-matched control subjects. *Am J Cardiol* 1989;63:465-470
 50. Pawade T, Sheth T, Guzzetti E, Dweck MR, Clavel MA. Why and how to measure aortic valve calcification in patients with aortic stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2019;12:1835-1848
 51. Jairam PM, Gondrie MJ, Grobbee DE, Mali WP, Jacobs PC, Van der Graaf Y, et al. Incidental imaging findings from routine chest CT used to identify subjects at high risk of future cardiovascular events. *Radiology* 2014; 272:700-708
 52. Lee HY, Kim SM, Lee KS, Park SW, Chung MJ, Cho H, et al. Quantification of aortic valve calcifications detected during lung cancer-screening CT helps stratify subjects necessitating echocardiography for aortic stenosis diagnosis. *Medicine (Baltimore)* 2016;95:e3710
 53. Van Hamersvelt RW, Willemink MJ, Takx RA, Eikendal AL, Budde RP, Leiner T, et al. Cardiac valve calcifications on low-dose unenhanced ungated chest computed tomography: inter-observer and inter-examination reliability, agreement and variability. *Eur Radiol* 2014;24:1557-1564
 54. Willemink MJ, Takx RA, Išgum I, De Koning HJ, Oudkerk M, Mali WP, et al. Prognostic value of heart valve calcifications for cardiovascular events in a lung cancer screening population. *Int J Cardiovasc Imaging* 2015; 31:1243-1249
 55. Gondrie MJ, Mali WP, Jacobs PC, Oen AL, Van der Graaf Y; PROVIDI Study Group. Cardiovascular disease: prediction with ancillary aortic findings on chest CT scans in routine practice. *Radiology* 2010;257:549-559
 56. Tison GH, Guo M, Blaha MJ, McClelland RL, Allison MA, Szklo M, et al. Multisite extracoronary calcification indicates increased risk of coronary heart disease and all-cause mortality: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2015;9:406-414
 57. Kianoush S, Al Rifai M, Cainzos-Achirica M, Al-Mallah MH, Tison GH, Yeboah J, et al. Thoracic extra-coronary calcification for the prediction of stroke: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Atherosclerosis* 2017; 267:61-67
 58. Nguyen T, Phillips C, Movahed A. Incidental findings of pericardial calcification. *World J Clin Cases* 2014;2: 455-458
 59. Weiss SA, Anderson AS, Raman J, Jolly N. Postoperative pericardial calcification causing diastolic coronary compression. *Ann Thorac Surg* 2010;90:1001-1004
 60. Shaw M, Pandey NN, Sharma A, Sharma S. Pericardial calcification: an uncommon presentation of rheumatic heart disease. *BMJ Case Rep* 2018;2018:bcr-2018-226435
 61. Sverzellati N, Cademartiri F, Bravi F, Martini C, Gira FA, Maffei E, et al. Relationship and prognostic value of modified coronary artery calcium score, FEV1, and emphysema in lung cancer screening population: the MILD trial. *Radiology* 2012;262:460-467

비 조영증강 비 심전도동기 흉부 CT에서 발견되는 심혈관계 석회화의 임상적 가치

최태섭¹ · 용환석^{1*} · 김채리² · 서영주³

심혈관계 석회화는 다양한 심혈관계 질환에서 나타나며 심혈관 사건 발생의 표지자의 역할을 한다. CT의 기술이 발전함에 따라 심전도동기 CT뿐만이 아닌 비 심전도동기 CT에서도 심혈관계 석회화를 평가하는 것이 가능해졌다. 이번 종설에서는 비 조영증강 비 심전도동기 흉부 CT에서 발견되는 심혈관계 석회화를 심혈관 사건 발생과 연관되었다고 알려진 3가지 석회화(관상동맥, 흉부 대동맥, 판막 석회화)에 대해 자세히 살펴보고 추가적으로 우연적으로 발견될 수 있는 심막 석회화에 대해서도 간단히 기술하였다. 우리나라에서 2019년 하반기부터 폐암 검진이 시작되면서 고령 흡연자의 비 조영증강 비 심전도동기 저선량 CT의 영상의 수가 늘어나고 있고 이에 우연히 발견되는 심혈관계 석회화도 늘어나고 있다. 그러므로 비 조영증강 비 심전도동기 흉부 CT에서 발견되는 심혈관계 석회화의 의미를 이해하고 적절히 보고하는 것이 영상학과 의사에게 중요할 것이다.

¹고려대학교 의과대학 고려대학교 구로병원 영상의학과,

²고려대학교 의과대학 고려대학교 안산병원 영상의학과,

³연세대학교 의과대학 세브란스병원 영상의학과