

Low-dose Chest CT in Evaluation of Coronary Artery Calcification: Correlation with Coronary Artery Calcium Score CT

Yon-Min Kim*

Department of Radiological Science, Wonkwang health science University

Received: November 30, 2023. Revised: December 29, 2023. Accepted: December 31, 2023.

ABSTRACT

Low-dose chest CT, which is used as a lung screening test, also includes information on coronary artery calcification within the scan range. The purpose of this study was to investigate the usefulness of determining coronary artery calcification using Low-dose chest CT. Those who underwent low-dose chest CT and coronary artery calcification score CT on the same day were eligible. Coronary artery calcium score CT results were divided into 4 groups (Low: $1 < CACS < 10$, Mild: $10 < CACS < 100$, Moderate: $100 < CACS < 400$, High: $400 < CACS$) by referring to the Coronary artery calcium score categories and risks. After selecting 30 people each group, five radiotechnologists with more than 15 years of experience in coronary artery calcium measurement retrospectively analyzed the presence or absence of coronary artery calcification in low-dose chest CT images. The results of the five observers' uniform interpretation of the low-dose chest CT image were consistent with the coronary artery calcium score CT results in Low group: 56%, Mild group: 96.6%, Moderate group: 100%, and High group: 100%. appeared. In the Low group, all 5 observers observed calcification in 17 out of 30 cases, and in 7 cases all 5 observers decided that calcification could not be identified. Coronary artery calcification could be observed in 100% of asymptomatic adults with a calcium score of 15 or higher in low-dose chest CT scans. The minimum calcium score that can be identified is 1, and it was found that even very small calcifications can be identified when the subject's body size is small or the scan is performed at a time when heart movement is minimal.

Keywords: Low-Dose Chest CT, Coronary Calcium Score CT, Coronary Calcium Score, Coronary Artery Disease

I. INTRODUCTION

전세계에서 폐암은 발생률과 사망률 측면에서 가장 흔한 암이다^[1]. 세계보건기구 2018 자료에 따르면, 2018년에 전 세계적으로 새롭게 암으로 진단되는 1808만 명 중 209만 명이 폐암으로 전체 암의 11.6%를 차지하고 폐암 사망은 약 176만 명으로 전체 암 사망 956만 명의 18.4%를 차지하여 암 사망 원인 중 1위이다^[2]. 우리나라도 국가암등록통계 연보에 따르면 폐암의 조 발병률은 전체 암 중 세 번째로 높으며, 우리나라 암 관련 사망 원인 1위를 차지하고 있다^[3]. 조기 폐암을 발견하기 위해 흉부 X선과 객담검사를 통한 폐암검진의 시도들이 있었

으나 이러한 검사들이 폐암 사망률을 감소시키는데 효과가 없다고 알려져 있어서^[4], 1990년대부터 표준선량의 CT보다 방사선 피폭을 감소시킨 저선량 CT를 이용하여 폐암검진을 하려는 시도가 있었고, 병기 I의 폐암 발견이 증가한다는 연구들이 보고 되었다^[5,6].

2011년에 미국에서 진행된 National Lung Screening Trial (NLST) 연구에서 저선량 흉부 CT를 이용하여 폐암 검진을 시행한 수검자에서 흉부 X선으로 폐암검진을 시행한 대조군에 비해 폐암 특이 사망률이 20% 감소하였다는 획기적인 연구결과가 발표되면서^[7], 우리나라에서도 폐암 권고안을 개발하였고, 30갑년 이상의 흡연력이 있는(금연 후

* Corresponding Author: Yon-Min Kim

E-mail: kimyonmin@wu.ac.kr

Tel: +82-63-840-1238

Address: Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University, Korea

15년이 경과한 과거 흡연자는 제외) 55~74세인 고 위험군을 대상으로 저선량 흉부 CT를 이용한 폐암 선별검사를 매년 시행할 것을 권고하였다⁸⁾.

저선량 흉부 CT는 심전도가 결합된 CT가 아니므로 심장박동에 의한 인공물이 있음에도 어렵지 않게 심장이나 관상동맥 석회화를 발견할 수 있다. 관상동맥 칼슘 측정은 Agatston에 의해 처음으로 정량화하는 방법이 제시되어 현재 많은 병원에서 심혈관 질환의 예측인자로 활용하고 있다^{9,10)}. 관상동맥 칼슘 점수가 심장질환 발생의 독립적인 위험 예측인자로서 전통적인 다른 위험인자보다 우수하다고 보고되어 있다^{11,12)}. 또한 무증상 관상동맥 죽상동맥경화증의 지표인 관상동맥 칼슘 점수는 평생 동안 심혈관 위험 요인에 대한 누적 노출을 반영하고 예방을 위한 의사결정에 정보를 제공하는 검사로 많은 검진기관에서 검사항목으로 사용하고 있다^{13,14)}.

따라서 본 연구는 폐 screening 검사로 이용되고 있는 저선량 흉부 CT가 Scan 범위 내에 관상동맥 석회화에 대한 정보도 함께 포함하고 있어 이를 이용한 관상동맥 석회화 판별의 유용성을 알아보고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구 대상

서울 소재 종합병원 검진센터를 방문하여 저선량 흉부 CT 검사와 관상동맥 칼슘 점수 CT 검사를 같은 날 시행 받은 자 120명을 대상으로 하여 본 연구의 대상자로 선정하였다. 대상자의 성별은 남자 109명(59.7±8.0세)과 여자 11명(63.5±8.4세)이었다. 관상동맥 칼슘 점수 CT 검사 결과를 Coronary artery calcium score categories and risks 분류법을 참고하여 4개 그룹(Low: 1<CACS<10, Mild: 10<CACS<100, Moderate: 100<CACS<400, High: 400<CACS)으로¹⁵⁾, 각각 30명을 선정한 후 관상동맥 칼슘 수치 측정 업무에 종사하고 있는 경력 15년차 이상 5명의 방사선사가 저선량 흉부 CT 영상에서 관상동맥 석회화 유무를 후향적으로 분석하였다.

저선량 흉부 CT에 사용한 장비는 Table 1과 같이 Philips brilliance 40 CT(Philips, USA), GE VCT (GE, USA), GE 750HD(GE, USA) 이었다.

관상동맥 칼슘 점수 CT 검사에 사용한 장비는 Table 2와 같이 Philips brilliance 40 CT, GE VCT, GE 750HD 이었으며, 검사할 때에 CT 장치와 심전도 동기화(ECG-Gating) 방법을 사용하여 prospective 방법으로 시행하였으며, 검사한 scan data는 검사장비와 같은 workstation으로 calcium score를 측정하였다.

Table 1. Scan parameter of low-dose CT exam equipment

Equipment	scan parameter				
	kVp	mAs	slice width (mm)	interval (mm)	FOV (mm)
Brilliance 40	120	58	2.5	2.5	320
GE VCT	120	40	2.5	2.5	360
GE 750HD	120	40	2.5	2.5	360

Table 2. Scan parameter of coronary artery calcium score CT exam equipment

Equipment	Scan parameter				
	kVp	mAs	slice width (mm)	interval (mm)	FOV (mm)
Brilliance 40	120	55	2.5	25	250
GE VCT	120	50	2.5	20	250
GE 750HD	120	50	2.5	20	250

2. 연구 방법

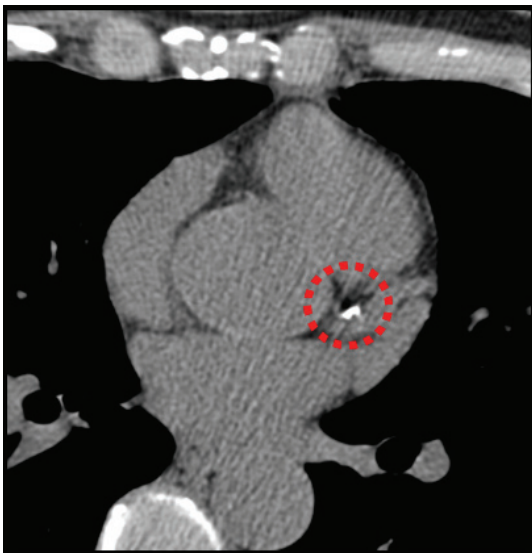
칼슘 측정에 사용된 워크스테이션으로는 필립스사의 EBW와 GE사의 AW를 이용하였다.

- 1) Philips EBW(Extended Brilliance Workspace) Version 3.0, Netherlands
- 2) GE AW(Advantage Windows) Version 4.4, Smart score, USA
- 3) GE AW(Advantage Windows) Version 4.6, Smart score, USA

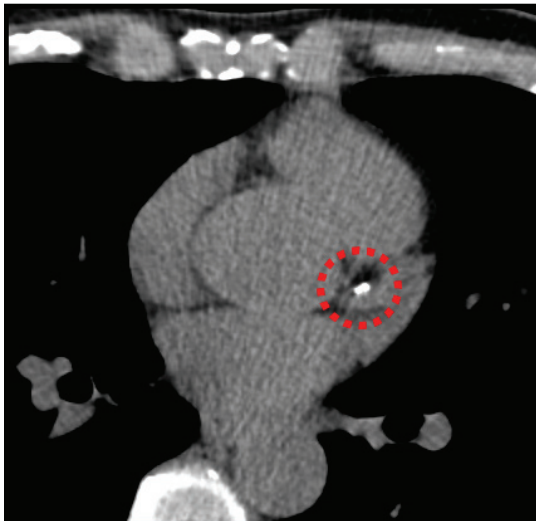
5명의 관찰자가 저선량 흉부 CT 영상에서 석회화 유무를 판별한 관찰자 간의 일치도를 측정하기 위하여 사용한 통계프로그램은 SPSS version 28(SPSS Inc., Chicago, Ill)을 이용하여 Fleiss Kappa 계수를 구하였다.

III. RESULT

남자 109명, 여자 11명의 칼슘 점수 평균과 표준편차는 각각 283.7 ± 440.1 , 32.6 ± 48.6 이었다. Low 그룹의 칼슘 점수 평균과 표준편차는 4.1 ± 2.8 , Mild 그룹은 42.1 ± 24.9 , Moderate 그룹은 217.5 ± 88.0 , High 그룹은 778.9 ± 578.9 이었다.



(a) Low-dose Chest CT scan



(b) Coronary artery calcium score CT scan

Fig. 1. The top is an image examined using a low-dose chest CT method. There is calcification in the left main artery. The bottom is an image examined using the coronary artery calcium score CT method, and it can clearly be seen that calcification is present in both images.

저선량 흉부 CT 영상에서 5명의 관찰자가 통일되게 판독한 결과가 관상동맥 칼슘 점수 CT 검사 결과와 일치한 경우는 Low 그룹: 56%, Mild 그룹: 96.6%, Moderate 그룹: 100%, High 그룹: 100%로 나타났다. Low 그룹에서 5명의 관찰자 모두가 석회화를 관찰한 것은 30건 중 17건이었으며, Fig. 1과 같이 저선량 흉부 CT 방식과 관상동맥 칼슘 점수 CT 방식을 이용한 두 영상 모두에서, 왼쪽 주 관상동맥에 석회화가 뚜렷이 관찰된다.

Low 그룹에서 5명의 관찰자간 일치도를 평가한 결과는 Table 3과 같으며, Fleiss의 Kappa 계수는 $K=0.786(p<0.001)$ 로서, Landis and Koch의 해석에 따르면 상당한 일치도(substantial)를 보이는 것으로 나타났다.

Table 3. Interobserver agreement in the low Coronary artery calcium score group with low-dose chest CT results

	observer 1 (%)	observer 2 (%)	observer 3 (%)	observer 4 (%)	observer 5 (%)
not exist	13(43.3)	10(33.3)	10(33.3)	8(26.7)	7(23.3)
exist	17(56.7)	20(66.7)	20(66.7)	22(73.3)	23(76.7)
total	30(100)	30(100)	30(100)	30(100)	30(100)

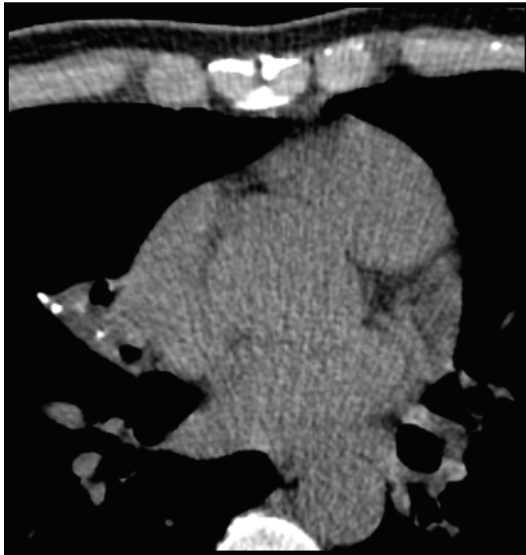
$K=0.786$ (0.672-0.899), $z=13.606$, $p<0.001$

5명이 모두 판별 불가로 결정한 경우 7건이었으며 Fig. 2와 같이 관상동맥 칼슘 점수 CT 스캔에서는 좌측 전하행동맥에 칼슘 점수가 6점으로 관찰되었으나, 저선량 흉부 CT에서는 석회화가 관찰되지 않았다. 4명이 판별 불가로 결정한 경우 1건, 3명이 판별 불가로 결정한 경우 2건, 2명이 판별 불가로 결정한 경우 1건, 1명이 판별 불가로 결정한 경우 3건으로 총 6건이 관찰자 간 일치하지 않는 것으로 나타났다.

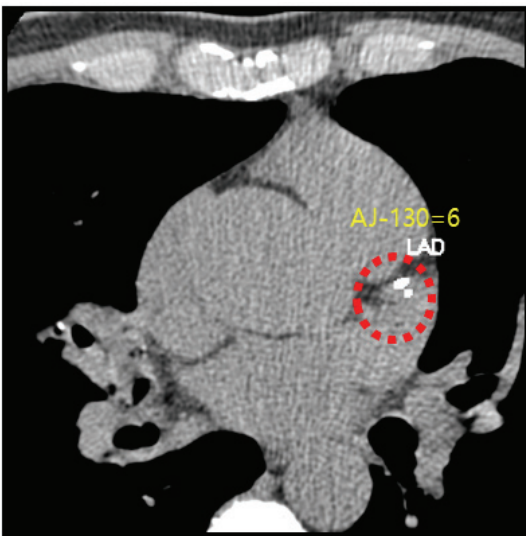
칼슘 점수가 10~100 사이인 Mild 그룹에서 5명의 관찰자 모두가 석회화를 관찰한 것은 30건 중 29건이었으며, 2명의 관찰자가 판별 불가로 결정한 경우는 1건이었다. 1건 불일치를 보였던 대상자의 칼슘 수치는 13으로 칼슘 점수가 높지 않았을 때 발생하였다.

Moderate 그룹과 High 그룹에서는 5명의 관찰자

모두가 석회화를 관찰하여 저선량 흉부 CT와 관상동맥 칼슘 점수 CT검사의 두 영상 모두에서 석회화가 뚜렷이 관찰되었다.



(a) Low-dose Chest CT scan



(b) Coronary artery calcium score CT scan

Fig. 2. Calcification is observed in the left anterior descending artery in the Coronary artery calcium score CT scan at the bottom, but no calcification is observed in the low-dose chest CT at the top.

IV. DISCUSSION

본 연구는 검진센터를 방문하여 저선량 흉부 CT 검사와 관상동맥 칼슘 점수 CT 검사를 같은 날 시

행 받은 대상자 120명을 후향적으로 분석하였다. 관상동맥 칼슘 점수가 15 이상인 대상자에서는 저선량 흉부 CT에서도 석회화를 모두 관찰할 수 있었다. 그러나 칼슘 점수가 15 이하인 그룹에서는 7명이 관찰자 모두에게서 석회화가 검출되지 않았다. 이는 관상동맥 칼슘 점수 CT는 심전도 동조화 (ECG-Gating) 방법을 사용하여 검사하지만, 저선량 흉부 CT는 심장박동 동조화 방식을 사용하지 않고 helical 방식으로 검사가 이루어져 검사 시점에 따라 석회화가 잘 보이거나 그렇지 않은 경우가 발생하기 때문으로 생각된다. 반면에 관찰자 모두가 판별이 가능하다고 한 경우 중 가장 낮은 칼슘 점수는 1이었다. 저선량 흉부 CT에서 검사 시점에서 관상동맥의 움직임이 거의 없어 관상동맥 석회화를 판별하는 데 어려움이 없었다.

석회화가 일정 크기 이상이면 동조화가 되지 않은 저선량 흉부 CT 영상에서도 석회화가 나타나게 된다. 하지만 이때는 초승달 모양으로 움직임에 의하여 경계가 불분명하게 보이지만 석회화가 있다는 것을 분명하게 보여준다. Shim et. al.^[16] 등의 선행연구에 의하면 추적검사에서 칼슘 점수가 변동되는 원인으로 Scan location 불일치 51%, Motion artifact 26%, 장비변동 14%, Image loss 1%, 중첩(부정맥) 1% 등이 칼슘 점수에 영향 요인으로 알려져 있다.

저선량 흉부 CT를 이용한 폐암 검진 프로그램에서 폐 결절의 발견 빈도는 연구에서 설정한 결절의 기준에 따라 다소 차이가 있지만, 첫 LDCT 검진에서 22~51%의 수검자에게서 폐 결절이 발견되는 것으로 보고되고 있고, 1년 간격으로 저선량 흉부 CT 검진을 진행하였을 때 첫 검진 이후로 매해 3~13%에서 새로운 결절이 발견된다^[17]. 대부분 크기가 작아서 실제 폐암일 가능성은 크지 않으나 폐 결절을 어떻게 추적하고 필요할 때 침습적 진단을 시도할 것인지는 학회단체에서 업데이트 하고 있다. 유럽에서 시행된 몇 개의 연구들에서는 CT 영상에서 3차원적으로 결절의 부피를 측정하는 방법으로 폐 결절의 크기를 정의하는 것의 유용성을 제시하고 있다^[17]. 이러한 3차원적 부피 측정에 기반을 둔 폐 결절의 크기 평가 지침은 미국영상의학회에서 제

작한 표준화된 판독 및 분류 시스템(Lung-RADS)에도 나와 있는 권고안이다. 따라서 추적검사가 필요한 폐 결절 환자에서는 저선량 흉부 CT 검사 시에 심전도를 동기화하여 검사한다면 폐 결절 부피 추적과 함께 석회화 점수도 정량화할 수 있는 발판이 될 것으로 생각된다.

현재 저선량흉부 CT 판독에서 관상동맥의 석회화 판독에 대한 지침(guideline)은 없다. 하지만 저선량 흉부 CT 검사에서도 대부분 작은 석회화까지 판별이 가능하기 때문에 판독내용에 관상동맥석회화에 대한 정보도 함께 제공해줄 수 있다면 심혈관 질환의 기초적인 예측 정보로 사용하는데 유용할 것으로 생각된다.

V. CONCLUSION

무증상 성인을 대상으로 저선량 흉부 CT 검사에서 칼슘 점수가 약 15 이상이면 화질 저하가 있음에도 관상동맥 석회화를 100% 관찰할 수 있었다. 판별이 가능한 최소 칼슘 수치는 1로, 피검자의 체형이 작거나 심장의 움직임이 최소가 되는 시점에서 스캔이 이루어지는 경우 매우 작은 석회화까지도 판별할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해서 수행됨

Reference

[1] World Health Organization, Geneva: World Health Organization; 2018, Cancer Fact [Internet] [cited 2019 Nov 1], Available From URL; <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>

[2] World Health Organization. Globocan 2018, Available at. <http://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/15-Lung-fact-sheet.pdf>. Accessed Apr 12, 2019.

[3] K. W. Jung, Y. J. Won, H. J. Kong, et. al., "Cancer statistics in Korea: incidence, mortality, survival, and prevalence in 2016", *Cancer Research and Treatment*, Vol. 51, No. 2, pp. 417-430, 2019.

<http://dx.doi.org/10.4143/crt.2019.138>

- [4] R. L. Manser, L. B. Irving, C. Stone, G. et. al., "Screening for lung cancer", *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2004. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001991.pub2>
- [5] C. I. Henschke, D. I. McCauley, D. F. Yankelevitz, et. al., "Early lung cancer action project: overall design and findings from baseline screening", *Lancet*, Vol. 354, No. 9173, pp. 99-105, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)06093-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(99)06093-6)
- [6] S. J. Swensen, J. R. Jett, T. E. Hartman, et. al., "CT screening for lung cancer: five-year prospective experience", *Radiology*, Vol. 235, No. 1, pp. 259-265, 2005. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2351041662>
- [7] D. R. Aberle, A. M. Adams, C. D. Berg, et. al., "Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening", *New England journal of medicine*, Vol. 365, No. 5, pp. 395-409, 2011. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1102873>
- [8] Korean National Cancer Screening Guideline Revision Committee, The Korean guideline for lung cancer screening (the first draft), Seoul, Korean National Cancer Screening Guideline Revision Committee, 2014.
- [9] M. Oudkerk, A. E. Stillman, S. S. Halliburton, et. al., "Coronary artery calcium screening: current status and recommendations from the European Society of Cardiac Radiology and North American Society for Cardiovascular Imaging", *International Journal of Cardiovascular Imaging*, Vol. 24, No. 6, pp. 645-671, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-008-9319-z>
- [10] P. Greenland, R. O. Bonow, B. H. Brundage, 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", *Journal of*

the American College of Cardiology, Vol. 49, No 3, pp. 378-402, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2006.10.001>

[http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30861-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30861-6)

- [11] A. J. Taylor, J. Bindeman, I. Feuerstein, et. al., "Coronary Calcium Independently Predicts Incident Premature Coronary Heart Disease Over Measured Cardiovascular Risk Factors", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 46, No. 5, pp. 807-814, 2005.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2005.05.049>
- [12] L. J. Shaw, P. Raggi, E. Schisterman, et. al., "Prognostic value of cardiac risk factors and coronary artery calcium screening for all-cause mortality", *Radiology*, Vol. 228, No. 3, pp. 826-833, 2003. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2283021006>
- [13] P. P. Toth, "Subclinical atherosclerosis: what it is, what it means and what we can do about it", *International Journal of Clinical Practice*, Vol. 62, No. 8, pp. 1246-1254, 2008.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1742-1241.2008.01804.x>
- [14] P. Greenland, M. J. Blaha, M. J. Budoff, et. al., "Coronary Calcium Score and Cardiovascular Risk", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 72, No. 4, pp. 434-447, 2018.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2018.05.027>
- [15] A. S. Agatston, W. R. Janowitz, F. J. Hildner, et. al., "Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 15, No. 4, pp. 827-832, 1990.
[http://dx.doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-t](http://dx.doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-t)
- [16] J. G. Shim, Y. M. Kim, J. W. Kim, "Factor Analysis of Decreased Score on Coronary Artery Calcium Score", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 10, No. 4, pp. 285-290, 2016.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2016.10.4.285>
- [17] P. J. Mazzone, G. A. Silvestri, L. H. Souter, et. al., "Screening for Lung Cancer: CHEST Guideline and Expert Panel Report - Executive Summary", *Chest*, Vol. 160, No. 5, pp. e427-e494, 2021.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chest.2021.07.003>
- [18] M. Oudkerk, A. Devaraj, R. Vliegthart, et. al., "European position statement on lung cancer screening", *Lancet Oncology*, Vol. 18, No. 12, pp. e754-e766, 2017.

관상동맥 석회화 평가에서 저선량 흉부 CT와 관상동맥 석회화검사의 일치도

김연민*

원광보건대학교 방사선과

요 약

폐 스크리닝 검사로 이용되고 있는 저선량 흉부 CT는 Scan 범위 내에 관상동맥 석회화에 대한 정보도 함께 포함하고 있어 이를 이용한 관상동맥 석회화 판별의 유용성을 알아보려고 한다. 저선량 흉부 CT 검사와 관상동맥 석회화 점수(CACS) 검사를 같은 날 시행 받은 자들을 대상으로 하였다. 관상동맥 석회화 점수 검사 결과를 Coronary artery calcium score categories and risks 분류법을 참고하여 4개 그룹(Low: $1 < \text{CACS} < 10$, Mild: $10 < \text{CACS} < 100$, Moderate: $100 < \text{CACS} < 400$, High: $400 < \text{CACS}$)으로 각각 30명을 선정한 후 관상동맥 석회화 수치 측정 업무에 종사하고 있는 경력 15년차 이상 5명의 방사선사가 저선량 흉부 CT 영상에서 관상동맥 석회화 유무를 후향적으로 분석하였다. 저선량 흉부 CT 영상에서 5명의 관찰자가 동일하게 판독한 결과가 관상동맥 석회화점수 CT 검사 결과와 일치한 경우는 Low 그룹: 56%, Mild 그룹: 96.6%, Moderate 그룹: 100%, High 그룹: 100%로 나타났다. Low 그룹에서 5명의 관찰자 모두가 석회화를 관찰한 것은 30건 중 17건이었으며, 5명이 모두 판별 불가로 결정한 경우 7건이었다. 무증상 성인을 대상으로 저선량 흉부 CT 검사에서 석회화 점수가 15 이상인 경우에는 관상동맥 석회화를 100% 관찰할 수 있었다. 판별이 가능한 최소 석회화 수치는 1로, 피검자의 체형이 작거나 심장의 움직임이 최소가 되는 시점에서 스캔이 이루어지는 경우 매우 작은 석회화까지도 판별할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

중심단어: 저선량 흉부 CT, 관상동맥석회화 CT, 관상동맥 석회화 점수, 관상동맥 질환

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	김연민	원광보건대학교 방사선과	교수