

# Discrimination Energy Range Analysis of Contrast Agents and Calcification using by VNC Application of DECT

Hyeon-Ju Kim\*

Department of Radiological Science, Dongnam Health University

Received: April 15, 2024. Revised: April 29, 2024. Accepted: April 30, 2024.

## ABSTRACT

By applying the various energy spectrum imaging functions of DECT, To quantitatively distinguish between contrast agent and calcification, changes in image quality are analyzed by comparing CNR and SNR. We investigated the level of dose reduction during two scans and one VNC scan. As a result, contrast agent and calcification were best distinguished in the 70 keV area, CNR and SNR were excellent, and scan dose was reduced by about 26.5%. Therefore, by applying DECT, meaningful results were obtained that could visually and quantitatively distinguish between the intravascular contrast agent and the shade of calcification. If clinical research is conducted in the future considering the patient's age, gender, and body type, quantitative analysis of calcification will be possible even with intravascular contrast agent flowing in, which will have a significant effect in reducing the patient's scan dose and the burden of multiple scans.

Keywords: DECT, Calcification, Contrast Agents, Radiation Dose, Image Quality

## I. INTRODUCTION

컴퓨터단층촬영(Computed Tomography, 이하 CT)은 짧은 검사 시간으로 2차원 또는 3차원 체적 영상 구현과 다양한 밀도로 구성된 인체 구조를 분해 능이 우수한 영상으로 구현 가능하여 질병과 정상 조직과의 관계를 명확한 판단이 가능하다고 한다. 이러한 이유로 임상에서 검사 건수는 매년 증가하고 있는 추세이다<sup>[1]</sup>. 특히 CT 영상은 대조도 분해 능도 우수하여 혈관구조와 혈관 내 석회화 등 다양한 병변에 대한 객관적 정보를 제공하고 있다<sup>[2]</sup>. 혈관 질환 중 석회화의 침착은 퇴적 현상처럼 혈관 내막에 칼슘-인산염 형태의 성분이 병리적으로 쌓여 침착된 질환이다<sup>[3]</sup>. 원인으로는 정상적인 노화 과정에서 발생하기도 하며, 당뇨병, 심혈관 질환, 유전질환 등 특정 질병 상태에서 흔하게 나타난다<sup>[4]</sup>. 이러한 석회화 침착의 초기 진단은 동맥 경화와 혈관 경색 등 특정 질병 상태를 예측할 수 있어 심

장혈관 석회화 정량평가 등을 임상에서 많이 시행하고 있다<sup>[5,6]</sup>. 하지만 석회화는 CT number가 높아 정확한 검사를 위해 조영제가 주입되지 않은 상태에서 시행해야 한다. 만일 조영제가 심장혈관 내 주입된 상태에서는 조영제와 석회화가 CT number가 유사하여 육안식별이 어려울 뿐만 아니라 정량적 평가에서도 정확도 낮아 정확한 진단에는 한계가 있다. 이러한 이유로 심장혈관 석회화 검사와 심장혈관 검사는 2회 스캔하여 검사를 시행하고 있다. 최근 이중 선원 컴퓨터단층촬영 장치(DECT, Dual Energy Computed Tomography, 이하 DECT)가 정량적 물질분석 측면에서 우수한 성능이 입증되어 심장검사에서도 많이 사용되고 있다. DECT는 40 kVp와 140 kVp 두 X-선원을 이용하여 서로 다른 에너지의 물질 투과 감약 정보를 영상화할 수 있어 기존 장치의 다색 방사선(Polychromatic X-ray)의 평균 에너지 영상만 구현이 가능했던 단점을 극복할 수 있는 것이 특징이다. 즉 에너지를 선택적으로

\* Corresponding Author: Hyeon-Ju Kim

E-mail: gidoong75@dongnam.ac.kr

Tel: +82-31-24-6409

재구성하여 에너지 파형에 따른 단일 에너지 파형의 CT영상(Monochromatic image) 획득이 가능하다<sup>[7]</sup>. 이 원리를 본 실험에 적용하면 특정 에너지 영역에서는 조영제를 주입해도 조영제가 주입되지 않은 영상과 유사하게 구현되는 가상 비 조영 증강(VNC, virtual non contrast; 이하 VNC) 영상이 구현되어 석회화와 대조도 차 형성이 가능하여 보다 정량적 분석이 가능할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 DECT의 다양한 에너지 스펙트럼 영상 구현기능을 적용하여 조영제의 CT number 감소 에너지 영역을 찾아 조영제와 석회화의 정량적 구분 가능성을 알아보고 이때 화질의 변화와 선량감소 수준을 알아보고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

본 연구를 위해 Fig. 1과 같이 실험용 플라스틱 수조에 물 2ℓ를 채우고 투명 도관에 CT number가 동일한 석회화(천연칼슘 비료, GARDENIT, Co. Korea) 3개를 고정하였다.

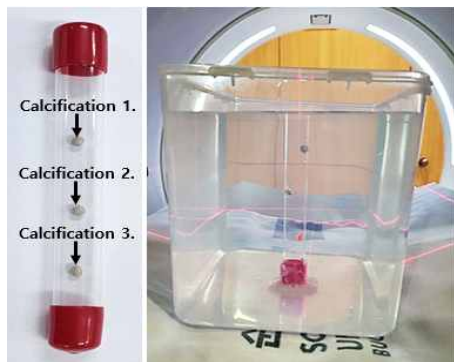


Fig. 1. Calcification phantom for experimental application.

실험 전 혈관의 CT number를 측정하였고 이와 동일한 조건을 구현하기 위해 조영제(Bonorex 350, DAI HAN PHARM CO.)와 주사용 증류수(JW Water for Inj, 20ml, JW. Co.)를 40 : 1로 희석하여 330 HU가 되도록 하였다. 이후 투명 도관에 희석된 조영제를 가득 채우고 GE Revolution(GE Healthcare, Waukesha, WI, USA)에 관전압 100 kV, 관전류 Smart mA(80~450 mA), 0.992:1 pitch, 0.625 mm 단면두께를 적용하여 스캔하였다. 획득 영상을

이용하여 조영제와 석회화가 잘 구분되는 에너지 영역을 찾아 화질 평가를 시행하고 기존 SECT(Single Energy Computed Tomography)의 석회화 정량검사 후 조영제 주입 혈관검사와 DECT 적용 시 선량의 변화를 분석하였다. 획득 데이터 중 통계분석이 필요한 정량값은 IBM SPSS Statistics® version 18 (IBM Corp, Armonk, NY, USA)에 적용하여 분석하였다.

### 1. DECT의 에너지 영역 분석

DECT 적용으로 획득한 Image raw data를 영상분석 프로그램인 AW 6.0 version (GE Healthcare, Waukesha, WI, USA)의 GSI spectral analysis program을 이용하여 Fig. 2와 같이 석회화와 조영제가 채워진 도관에 관심 영역(ROI, region of interest, 이하 ROI)을 그려 CT number를 측정하여 조영제가 채워진 도관 내의 석회화가 잘 구분되는 에너지 영역을 찾아보았다.

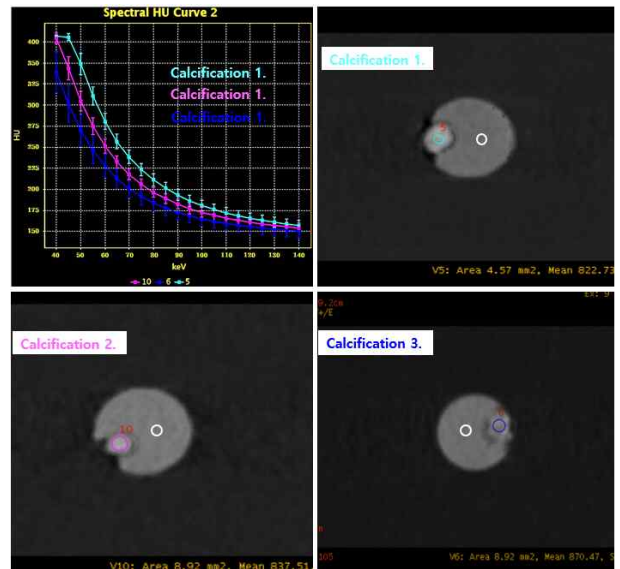


Fig. 2. Energy range analysis to distinguish between contrast agent and calcification.

### 2. CNR, SNR 분석

DECT의 에너지 분석결과를 바탕으로 조영제와 석회화가 잘 구분되는 60~100 keV의 영상을 이용하여 Fig. 3과 같이 ROI를 그려 측정된 CT number와 표준편차(SD: Standard Deviation, 이하 SD)를 Eq. (1), (2)에 적용하여 CNR(Contrast to noise ratio)

과 SNR(Signal to noise ratio)을 계산하였다. 계산된 CNR과 SNR의 정량 값을 일원 배치 분산분석(One-way ANOVA)에 적용하여 에너지별 유의성을 분석하고 CNR과 SNR이 가장 우수한 에너지 영역을 찾아 보았다.

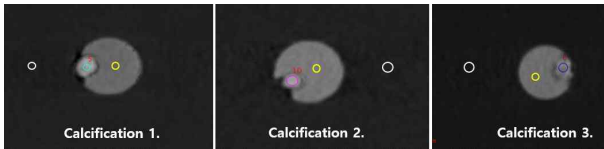


Fig. 3. ROI setup image for CNR and SNR analysis.

$$CNR = \frac{ROI_1 - ROI_2}{BKG(SD)} \quad (1)$$

$ROI_1$  : CT number of  $ROI_1$

$ROI_2$  : CT number of  $ROI_2$

$BKG(SD)$  : Background noise

$$SNR = \frac{ROI(HU)}{BKG(SD)} \quad (2)$$

$ROI(HU)$  : ROI CT number

$BKG(SD)$  : Background noise

### 3. 스캔 선량 비교분석

실험에 적용한 스캔 조건을 기준으로 DECT로 VNC 영상 구현 1회 스캔 시와 기존 스캔 방식인 SECT로 TNC 영상 구현 석회화 평가 목적 1회, 조영제 주입 후 혈관 상태 관찰 목적으로 1회, 총 2회 스캔 적용 시 발생하는 선량을 비교해 보았다. 이때 선량 측정은 Fig. 4와 같이 Acrylic phantom(2-part PMMA CT-phantom Adult Head)과 Ionization chamber (MagicMax Universal 10 XF-3CT)를 이용하여 측정기를 이용하여 중심부와 주변부 선량을 측정하고 Eq. (3)에 적용하여 CTDI<sub>vol</sub> 을 계산하였고 총 10회 측정 평균값의 차이를 비교해 보았다.

$$CTDI_{vol} = CTDI_w / pitch \quad (3)$$

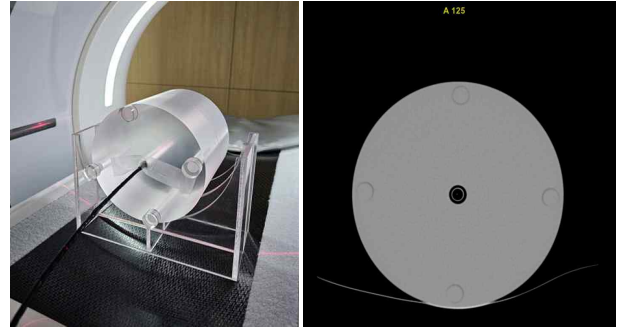


Fig. 4. Dosimetric images for scan dose comparison.

## III. RESULT

### 1. DECT의 에너지 영역 분석

DECT의 GSI spectral analysis program을 적용하여 도관 내의 조영제와 석회화가 잘 구분되는 에너지 영역을 찾아본 결과 Table 1, Fig. 5와 같이 70 keV 영역에서 조영제  $300.4 \pm 21.9$  HU, 석회화  $251.2 \pm 32.8$  HU로 두 물질의 CT number 차가 약 16.34%로 분석되어 가장 잘 구분되었고, 80 keV는 15.28%, 90 keV는 14.16%, 100 keV는 12.61%, 60 keV는 11.75%, 110 keV는 9.44%, 120 keV는 6.96%, 130 keV는 6.39%, 140 keV와 50 keV는 4.18%, 40 keV는 2.98%로 조영제와 석회화가 구분되는 수치로 분석되었다.

Table 1. Comparison ratios of contrast agent and calcification according to energy [unit : HU]

keV	Contrast	Calcification	Comparison ratio (%)
40	431.8 ± 40.1	418.9 ± 71.8	2.98 %
50	360.9 ± 38.5	345.8 ± 50.9	4.18 %
60	341.2 ± 28.4	301.1 ± 41.8	11.75 %
70	300.4 ± 21.9	251.2 ± 32.8	16.34 %
80	281.9 ± 17.4	238.8 ± 20.7	15.28 %
90	278.1 ± 18.9	238.7 ± 21.6	14.16 %
100	251.4 ± 11.2	219.7 ± 17.8	12.61 %
110	238.3 ± 19.5	215.8 ± 21.6	9.44 %
120	204.1 ± 10.7	189.9 ± 18.5	6.96 %
130	187.7 ± 13.4	175.7 ± 10.8	6.39 %
140	164.7 ± 10.7	157.8 ± 8.9	4.18 %

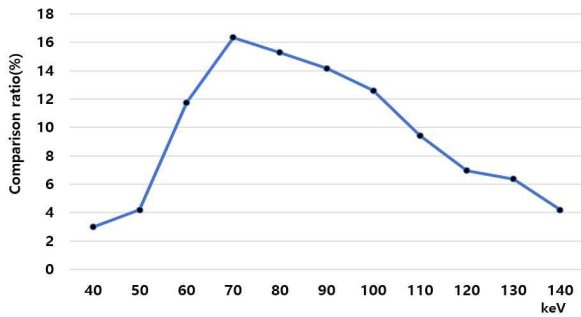


Fig. 5. comparison ratios of contrast medium and calcification according to energy.

### 2. CNR, SNR 분석

DECT의 에너지 영역 분석결과를 바탕으로 60~100 keV의 영상을 이용하여 CNR과 SNR을 비교 분석한 결과 Table 2와 같이 70 keV에서 CNR이  $16.17 \pm 1.78$ , SNR은  $9.54 \pm 2.13$ 으로 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, 60 keV에서는 CNR이  $14.37 \pm 2.21$ , SNR은  $7.27 \pm 2.85$ , 80 keV에서는 CNR이  $16.12 \pm 1.51$ , SNR은  $9.45 \pm 2.09$ , 90 keV에서는 CNR  $15.34 \pm 1.43$ 이, SNR은  $9.12 \pm 1.11$  100 keV에서는 CNR이  $15.21 \pm 1.20$ , SNR은  $8.92 \pm 0.94$ 로 CNR과 SNR 모두 에너지별 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다( $0.05 > P$ ).

Table 2. CNR and SNR analysis in the 60 to 100 keV energy range

CNR					P
60 keV	70 keV	80 keV	90 keV	100 keV	0.001
14.37±2.21	16.17±1.78	16.12±1.51	15.34±1.43	15.21±1.20	
SNR					P
60 keV	70 keV	80 keV	90 keV	100 keV	0.001
7.27±2.85	9.54±2.13	9.45±2.09	9.12±1.11	8.92±0.94	

### 3. 스캔 선량 비교분석

실험에서 적용한 DECT로 VNC 영상 구현 1회 스캔 시와 SECT로 석회화 평가 목적 1회, 조영제 주입 후 혈관 상태 관찰 목적 1회, 총 2회 스캔 시 발생하는 선량의 평균값을 비교한 결과 Table 3과 같이 DECT적용 시 6.51 mGy, SECT적용 시 8.61 mGy로 측정되어 DECT의 적용은 선량 감소효과에 의미가 있는 것으로 분석되었다( $0.05 > P$ ).

Table 3. Comparison of scan dose using VNC scan of DECT and TNC scan of SECT [mGy]

	DECT applied VNC scan	SECT applied TNC scan
Average dose	6.51	8.86
Reduction ratio	26.5%	
p-value	0.001	

## IV. DISCUSSION

심장혈관 내 석회화 진단은 물질의 밀도나 원자 번호 등에 따라 다른 선 감약계수를 적용하여 물을 기준으로 상대적 밝기를 수치로 구현가능한 CT를 많이 이용하고 있다. 석회화는 혈관 내 잔여 칼슘이 다양한 노폐물과 함께 혈관의 벽 또는 장기의 세포에 침착되어 발생하는 질환이다<sup>[8]</sup>. 혈관 내 석회화가 침착되면 동맥에 협착이 발생하여 동맥경화증을 유발하며 특히 심장혈관에 이러한 문제가 발생하며 다양한 심혈관 질환이 유발될 수 있다<sup>[9]</sup>. DECT는 현재 임상에서 선 흡수계수가 유사한 정상조직과 병변의 정량적 구분이 가능한 것으로 평가되어 많이 활용하고 있다. 그 이유는 DECT는 가상 에너지별 분광 영상을 구현하고 선 흡수계수 차를 이용하여 물질의 종류를 구분할 수 있어 조영 증강된 요오드 영상의 감산이 가능하여 가상 비조영 영상 구현이 가능하다고 한다<sup>[10,11]</sup>. 본 연구와 유사한 목적으로 시행한 선행연구 결과에 의하면 SECT 적용 시 밀도가 다른 일부 물질의 경우 CNR 차이는 발생하지만, CT number가 유사한 경우 정상조직과 병변의 명확한 차이가 나지 않아 진단 시 판독의 신뢰도가 저하된다고 한다. 이러한 이유로 저자는 DECT 적용으로 병변에 대한 정확한 에너지 영역을 찾아야 하는 필요성을 주장하고 있다<sup>[12,13]</sup>. 이에 본 연구에서도 석회화와 조영제의 평균 CT number를 기준으로 DECT를 적용하여 에너지 영역별 영상을 획득 후 조영제와 석회화가 가장 잘 구분되는 에너지 영역을 찾고자 하였다. 연구 결과에 의하면 60~100 keV에서 석회화와 조영제가 가장 잘 구분되었고 특히 70 keV에서 두 물질의 CT number 차가 약 16.34% 나타나고 CNR이  $16.17 \pm 1.78$ , SNR이  $9.54 \pm 2.13$ 으로 가장 높았다. 또한, 선

량의 감소율은 약 26.5%에 달했다. 따라서 DECT의 적용은 VNC 영상 구현이 가능하여 기존 SECT적용 검사방법과 달리 조영제 주입 1회 스캔으로 VNC 영상구현으로 석회화 정량평가와 심장혈관검사가 가능하여 피폭선량의 감소효과와 환자의 검사에 대한 부담감을 덜어줄 수 있을 것이다. 비록 본 실험에서 실제 혈관이 아닌 자체 제작 팬텀을 이용한 점과 실제 인체 내 석회화를 적용하지 못한 점은 부족 하지만, 혈관 내 조영제와 석회화를 임상 영상 분석 CT number와 동일한 상태로 설정하였고 실제 임상에서 적용하는 에너지 분석프로그램을 적용하여 실험을 시행하였기 때문에 실험 결과는 유의미하며 추후 임상 실험에 기초자료 측면에서도 매우 의미가 있다고 생각된다.

## V. CONCLUSION

CT number가 유사한 혈관 내 조영제와 병변인 석회화 구분을 위한 DECT 적용은 에너지별 가상분광 영상 구현으로 석회화의 명암을 형성하여 시각적 그리고 정량적 구분에 매우 유의미한 결과를 도출할 수 있었다. 향후 환자의 나이, 성별 및 체형 등을 고려한 임상 연구를 시행하여 결과를 도출한다면 혈관 내 조영제가 유입된 상태에서도 석회화 정량 분석이 가능하여 환자의 검사 선량과 다 회 검사에 대한 부담감 감소에 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.

## Reference

[1] P. K. Cho, "Computed Tomography and Quality Management", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 14, No. 3, pp. 221-223 2020. <http://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.3.221>

[2] Y. S. Kim, S. Y. Ye, D. H. Kim, "When Evaluated Using CT Imaging Phantoms AAPM Phantom Studies on the Quantitative Analysis Method", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 16, No. 8, pp. 592-600 2016. <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.08.592>

[3] Kosaku Nitta, "Vascular Calcification in Patients with Chronic Kidney Disease", *Therapeutic Apheresis and Dialysis*, Vol. 15, No. 6, pp. 513-521, 2011.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-9987.2011.00979.x>

[4] S. J. Lee, I. K. Lee, J. H. Jeon, "Vascular Calcification-New Insights Into Its Mechanism", *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 21, No. 8, pp. 2685, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21082685>

[5] H. S. Han, S. J. Lee, H. J. Jeong, D. S. Kim, "Evaluation of usefulness of virtual calcium scoring in Dual-Energy cardiac CT", *Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology*, Vol. 20, No. 2, pp. 43-51, 2018.

[6] W. J. Lee. "Prediction of Obstructive Coronary Artery Disease by Coronary Artery Calcification Finding on Low-dose CT Image for screening of lung diseases: Compared with Calcium Scoring CT", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 11, No. 10 pp. 333-341, 2011. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2011.11.10.333>

[7] M. Tsurusaki, K. Sofue, M. Hori, K. Sasaki, K. Ishii, T. Murakami, M. Kudo, "Dual-Energy Computed Tomography of the Liver: Uses in Clinical Practices and Applications", *Diagnostics*, Vol. 11, No. 2. pp. 161, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics11020161>

[8] A. Kaul, P. S. Dhalla, A. Bapatla, R. Khalid, J. Garcia, A. S Armenta-Quiroga, S. Khan, "Current Treatment Modalities for Calcified Coronary Artery Disease: A Review Article Comparing Novel Intravascular Lithotripsy and Traditional Rotational Atherectomy", *Journal of Cureus*, Vol. 12, No. 10, pp. 10922, 2020. <http://dx.doi.org/10.7759/cureus.10922>

[9] S. B. Kim, "Coronary artery calcification and serum markers", *The Korean Journal of Medicine* Vol. 72, No. 5, pp. 443-445, 2007.

[10] M. Cellina, M. V. Bausano, D. Pais, V. Chiarpenello, M. Costa, Z. Vincenzo, M. Cè, C. Martinenghi, G. Oliva, G. Carrafiello, "Dual-Energy CT Applications in Urological Diseases", *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 13, pp. 7653, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13137653>

[11] M. Okamura-Kawasaki, Y. Uesugi, S. Yabusaki, "Dual-energy CT for gastrointestinal bleeding", *BJR Open*, Vol. 5, No. 1, pp. 1-4, 2023. <http://dx.doi.org/10.1259/bjro.20220054>

- [12] Y. K. Kim, S. H. Park, Y. M. Kim. "Comparison of Bone Volume Measurements Using Conventional Single and Dual Energy Computed Tomography", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 40, No. 2, pp. 253-259, 2015.  
<https://doi.org/10.17946/JRST.2017.40.2.10>
- [13] L. Yu, J. A Christner, S. Leng, J. Wang, J. G Fletcher, C. H McCollough, "Virtual monochromatic imaging in dual-source dual-energy CT: Radiation dose and image quality", *Medical Physics*, Vol. 38, No. 12, pp. 6371-6379, 2011.  
<http://dx.doi.org/10.1118/1.3658568>

# DECT의 VNC 적용으로 조영제와 석회화의 식별 에너지 영역 분석

김현주\*

동남보건대학교 방사선과

## 요 약

DECT의 다양한 에너지 스펙트럼 영상 구현기능을 적용하여 조영제와 석회화의 정량적 구분 가능성을 알아보기 위해 CNR과 SNR을 비교하여 화질의 변화를 분석하고, 기존 방법인 2회 스캔 적용 시와 실험에서 적용한 VNC 영상 구현 1회 스캔 시 선량 감소수준을 알아보았다. 그 결과 70 keV 영역에서 조영제와 석회화가 가장 잘 구분되었고, CNR, SNR도 우수하였으며 스캔 선량은 약 26.5% 감소효과가 있었다. 따라서 DECT 적용은 에너지별 가상 분광 영상 구현으로 석회화의 명암을 형성하여 시각적 그리고 정량적 구분에 매우 유의미한 결과를 도출할 수 있었다. 향후 환자의 나이, 성별 및 체형 등을 고려한 임상 연구를 시행하여 결과를 도출한다면 혈관 내 조영제가 유입된 상태에서도 석회화 정량 분석이 가능하여 환자의 검사 선량과 다 회 검사에 대한 부담감 감소에 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 이중에너지CT, 석회화, 조영제, 방사선량, 화질

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	김현주	동남보건대학교 방사선과	교수