Usefulness of DECT Application for Compensation of Image Contrast Difference According to CT Contrast Agent Density

Hyeon-Ju Kim*

Department of Radiologic Science, Dongnam Health University

Received: June 04, 2023. Revised: June 26, 2023. Accepted: June 30, 2023.

ABSTRACT

In this study, normal saline was diluted with the contrast medium at a certain ratio for the purpose of reducing the image quality poor and side effects caused by the contrast medium during CT examination. At this time, by finding the energy level of DECT that can compensate for the decrease in contrast of the image according to the degree of dilution, the usefulness of applying DECT for compensating the difference in image contrast was investigated through comparative analysis by applying SNR, CNR, and SSIM. As a result, when a dilution ratio of 4 (contrast medium): 6 (normal saline) and the energy level of DECT of 65 keV were applied, the contrast difference was the most similar to that when using the undiluted contrast medium. At this time, SNR was 813.71 ± 37.6, CNR was the highest at 921.87 ± 17.1, and SSIM index was measured at 0.851, which is the most similar to 1. The results of this study are meaningful in providing basic information for finding the appropriate dilution rate and energy level for each examination site through future clinical studies. It is believed that it can be reduced.

Keywords: Contrast Medium, Normal Saline, Dect, Energy Level, Dilution

I. INTRODUCTION

컴퓨터단층촬영(CT, Computed Tomography)은 짧은 검사 시간으로 2차원 또는 3차원 볼륨 영상을 구현할 수 있고 병변에 대한 민감도와 분해능이 우수하여 임상에서 검사 건수는 매년 증가하고 있다[1]. 또한, CT 영상은 공간분해능뿐만 아니라 대조도 분해능이 우수하여 복부와 같이 밀도차가 높거나 낮은 해부학적 구조의 구분 능력이 뛰어나다[2]. 하지만 상대적으로 분해능이 낮은 해부학적 구조나 병변의 경우 반드시 조영제를 정맥 주입하여 대조도 차를 인위적으로 형성 후 병변을 진단하고 있다. CT 검사의 대부분 조영제를 주입하여 검사하며 사용 조영제는 수용성 조영제인 비이온성 요오드 성분의 조영제이다. 조영제의 경우 농도가 높을수록 관련 부작용 발생확률이 높으며 최근 혈당강하제인 메트포르민을 먹는 환자의 경우 조영제 주입 시 약리작용 때문에 콩팥의 부전을 유발할 수 있다는 보고도 있다[3]. 또한, 병변과 정상구조의 대조도 차를 이용하여 병변을 판단하기 위해 주입한 조영제가 오히려 밀도 차를 유발하여 주변 조직과 큰 밀도 차를 형성하여 물리적인 인공물을 유발하여 병변관찰이 어려운 상황이 발생하기도 한다[4]. 이런 이유로 조영제 사용은 의료 방사선처럼 양날의 검으로 많이 비유되고 있다. 즉, 유용성도 있지만, 문제점도 많이 있다. 임상 또는 연구기관에서는 위에서 언급한 조영제의 문제점을 해결하기 위해 조영제의 농도를 낮추는 방안, 희석하여 사용하는 방법 등을 찾기 위해 많은 연구 활동을 하고 있고 연구결과 적용 가능성에 대하여 임상시험 등을 준비하고 있다고 한다[5]. 따라서 본 연구는 DECT (Dual Energy Computed Tomography)를 이용하고 식염수

* Corresponding Author: Hyeon-Ju Kim E-mail: gidoong75@naver.com Tel: +82-31-249-6632
Address: Dongnam Health University, 50, CheonCheon-Ro 74-gil, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Rep.of Korea 38430

를 조영제에 일정 비율로 희석하여 희석 정도에 따른 영상의 대조도 감소를 보상할 수 있는 에너지 준위를 찾아 CT 조영제 농도에 따른 영상 대조도 차 보상을 위한 DECT 적용의 유용성을 알아보았다.

II. MATERIAL AND METHODS

실험은 DECT인 64MDCT (Discovery 750 HD, GE HEALTHCARE, Milwaukee, USA)를 사용하고 복부 CT 스캔 조건인 관전압 120 kVp, smart mA (100 ~ 340), 0.984 : 1 pitch, 3 mm slice thickness를 적용하였다. 실험에 적용한 조영제는 Iomeron 350 Braco (BIPSO GmbH, Germany)를 사용하였고, 희석을 위해 사용한 생리식염수는 이노엔 0.9 % 생리식염수 주사액(HK inno. N. co., KOREA)을 사용하였으며 조영제 원액을 대조군 그리고 실험군은 동일 비율로 조영제와 생리식염수를 희석하여 실험용 비커에 채우고 용적이 더 큰 비커에는 Back ground로 물을 채웠다. 이때 조영제(contrast medium)와 생리식염수(normal saline)의 비율을 8 : 2, 6 : 4, 5 : 5, 4 : 6, 2 : 8로 변경 제조하여 Fig. 1과 같이 스캔하였다. 스캔 후 획득한 Raw data를 이용하여 에너지 준위별 영상 데이터를 획득하고 AW 4.6 Volume Share 4 (GE HEALTHCARE, Milwaukee, USA)의 GSI (Gemstone Spectral Imaging) 기능을 이용하여 에너지 준위별 영상을 구현하였다.

Fig. 1. Contrast medium preparation and scanning images for experiments.

그 후 동을 위치에 ROI (Region of interest)를 30회 그려 평균 CT Number와 표준편차(Standard deviation, SD)를 측정하였다. 그리고 DECT 에너지 레벨 분석 방법을 통해 찾은 희석률에 따른 적정에너지 레벨 영상을 이용하여 조영제 원액으로 스캔한 영상 기준으로 동일 위치와 크기의 ROI를 그려 SNR (Signal to noise)과 CNR (Contrast to noise)분석을 하였고, 동일 데이터를 이용하여 ICY (icy-version 1.6.1.1)를 이용한 화질 분석 방법인 SSIM (Structural Similarity Index map) 분석을 하였다.

1. DECT 에너지 레벨 분석

DECT를 이용한 에너지 레벨 분석은 조영제 원액을 스캔한 영상을 기준으로 Fig. 2와 같이 DECT 스캔으로 획득한 희석률과 에너지 레벨에 따라 획득한 영상을 이용하여 GSI 기능을 적용 조영제 원액 영상과 CT Number가 가장 유사한 에너지 레벨을 희석률에 따라 분석해 보았다.

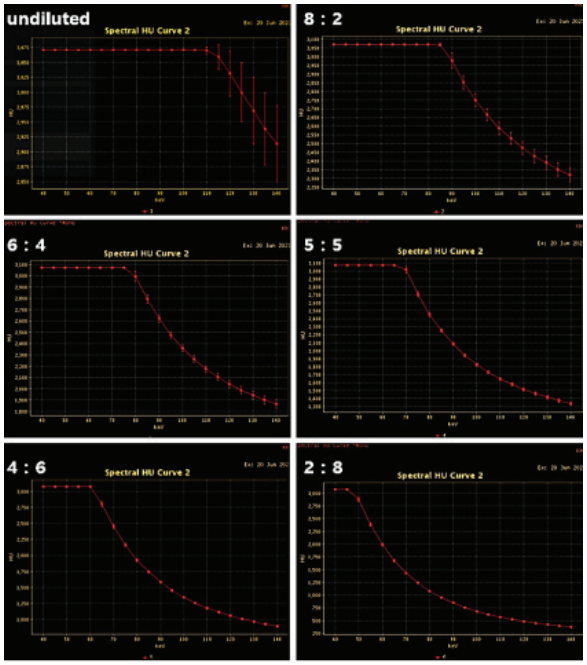

Fig. 2. Appropriate energy level analysis curve according to dilution rate.

2. 화질 분석

2.1. SNR, CNR 분석

DECT로 획득한 영상 중 희석률에 따른 적정에너지 레벨 영상을 이용하여 Fig. 3과 같이 동일 위치에 ROI를 그려 Eq. (1)과 Eq. (2)를 적용하여 SNR과 CNR을 비교 분석해 보았다.

$$SNR = \frac{ROI(HU)}{BKG(SD)} \quad (1)$$

$ROI(HU)$: CT Number

$BKG(SD)$: Background noise

$$CNR = \frac{ROI_1 - ROI_2}{BKG(SD)} \quad (2)$$

ROI_1 : CT number of ROI_1

ROI_2 : CT number of ROI_2

$BKG(SD)$: Background noise

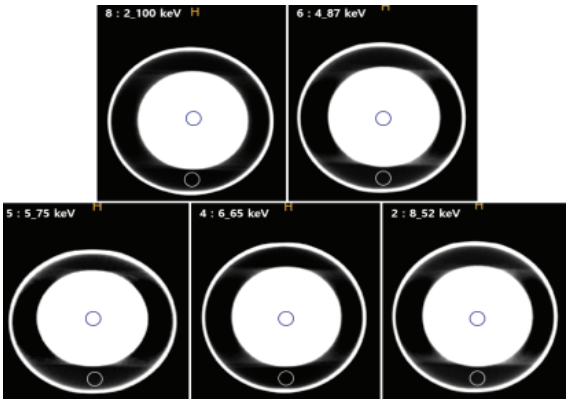

Fig. 3. SNR and CNR analysis using energy level images acquisition by DECT.

2.2. SSIM 분석

조영제 원액을 적용하여 스캔한 영상을 기준으로 DECT로 획득한 영상 중 희석률에 따른 적정에너지 레벨 영상을 조영제 원액으로 획득한 영상을 기준으로 Eq. (3)을 적용하여 Fig. 4와 같이 SSIM 분석을 통해 획득한 영상을 비교하였다.

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(2\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (3)$$

μ_x, μ_y : Average of x y

σ_x^2, σ_y^2 : Variance of x, y

σ_{xy}^2 : Covariance of x, y

c_1, c_2, c_3: Stabilize parameters

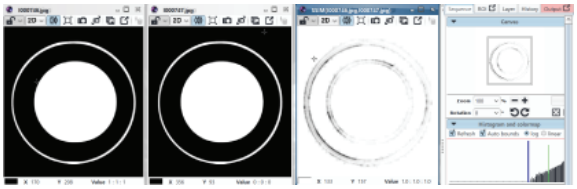

Fig. 4. SSIM analysis using energy level images acquisition by DECT.

III. RESULT

1. DECT 에너지 레벨 분석

조영제 원액을 적용하여 스캔 시 평균 CT Number는 약 2753±29.5 HU로 측정되었고, Spectral HU curve에서 조영제 원액 주입 시와 HU가 가장 유사한 2750 HU를 기준으로 에너지 레벨을 희석률에 따라 분석한 결과 Table 1과 같이 8 : 2 비율은 100 keV에서 가장 유사한 CT Number로 측정되었고, 6 : 4 비율은 87 keV, 5 : 5 비율은 75 keV, 4 : 6 비율은 65 keV, 2 : 8 비율은 52 keV에서 가장 유사한 CT Number로 측정되었다.

Table 1. Dilution rate and energy level analysis of similar CT numbers

SECT		DECT		
kVp	CT number	Dilution rate(%) CM : NS	CT number	keV
120	2753 ± 29.5	8 : 2	2750	100
		6 : 4		87
		5 : 5		75
		4 : 6		65
		2 : 8		52

† CM : contrast medium
‡ NS : normal saline

2. 화질 분석

2.1. SNR, CNR 분석

DECT로 획득한 영상 중 희석률에 따른 적정에너지 레벨 영상을 이용하여 SNR과 CNR을 비교 분석한 Table 2와 같이 조영제와 생리식염수 비율 8 : 2이고 100 keV에서 SNR이 621.57 ± 21.8, CNR이 814.58 ± 30.8로 분석되었고, 희석비율 6 : 이고 80 keV일 때 SNR 621.80±17.5, CNR 801.37±23.7, 희석

비율 5:5이고 75 keV일 때 SNR 771.54±31.1, CNR 814.61±17.3, 희석비율 4:6이고 65 keV일 때 SNR 813.71±37.6, CNR 921.87±17.1, 희석비율 2:8이고 52 keV일 때 SNR 635.28±35.9, CNR 698.14±31.8로 분석되었다.

Table 2. SNR and CNR analysis according to energy level and dilution rate

Dilution rate(%) CM : NS	keV	SNR	CNR
8 : 2	100	621.57±21.8	814.58±30.8
6 : 4	87	621.80±17.5	801.37±23.7
5 : 5	75	771.54±31.1	814.61±17.3
4 : 6	65	813.71±37.6	921.87±17.1
2 : 8	52	635.28±35.9	698.14±31.8

† CM : contrast medium
‡ NS : normal saline

2.2. SSIM 분석

조영제 원액을 적용하여 스캔 영상을 기준으로 DECT로 획득한 영상 중 희석률에 따른 적정에너지 레벨 영상을 이용 SSIM 분석을 시행한 결과 Table 3과 같이 희석비율 8:2이고 100 keV에서 SSIM index가 0.731, 희석비율 6:4이고 80 keV에서 0.814, 희석비율 5:5이고 75 keV에서 0.762, 희석비율 4:6이고 65 keV에서 0.851, 희석비율 2:8이고 52 keV에서 0.694로 분석되었다.

Table 3. Energy level according to dilution rate based on CT number

dilution rate(%) CM : NS	keV	SSIM index
8 : 2	100	0.731
6 : 4	87	0.814
5 : 5	75	0.762
4 : 6	65	0.851
2 : 8	52	0.694

† CM : contrast medium
‡ NS : normal saline

IV. DISCUSSION

최근 임상에서는 에너지 준위별 영상을 구현하여 물질분석을 통해 물질의 물리적 성질과 시각적 정보를 제공해주는 DECT를 많이 활용하고 있다[6]. DECT는 80 kVp와 140 kVp 두 개의 X-선원을 이용하여 밀도가 다른 물질의 투과 감약 정보를 영상화가 가능하여 기존 평균 에너지 형태의 단일 선원 CT에서 에너지 분리가 불가능한 것을 극복한 CT 장치라고 할 수 있다[7]. 즉, 기존 SECT는 물질을 투과한 모든 스펙트럼이 중첩된 영상(polychromatic image)으로 구현했던 것과는 달리 서로 다른 X-선원이 물질을 투과하여 감약된 에너지를 선택적으로 재구성하여 에너지 파형에 따른 단일 에너지 파형의 CT 영상(monochromatic image) 획득이 가능한 것이다[8]. 우리는 이러한 DECT의 기능을 이용하여 조영제 희석으로 인한 영상의 대조도 저하를 극복할 방법을 찾아보았고 추가로 조영제와 식염수의 희석률에 따라 영상 대조도 저하에 대한 보상이 가능한 에너지 영역을 찾아본 것이다. 실험 결과에 의하면 CT 검사 시 가장 많이 적용하는 120 kVp 기준 조영제 원액의 CT number는 2753±29.5 HU로 측정되었고 희석률과 에너지 레벨에 따라 CT number가 가장 유사하며 SNR, CNR이 가장 높고, SSIM index가 1에 가까운 조건은 희석률 4:6, 65 keV 적용 시였다. 국내 소은섭 등 논문에 따르면 흉부 CT 검사에서 조영제 농도를 줄이는 대신 DECT를 이용하여 스캔 후 50 keV monochromatic 영상에서 SNR, CNR이 가장 높았으며 SSIM 분석에서도 0.851로 분석되었다. 이처럼 팬텀을 통한 분석과 실제 임상을 통한 실험을 비교했을 때 유용성을 보였다는 점에서 이번 실험의 결과는 의미가 있다고 생각한다[9]. 다만 모든 의료기관이 DECT를 활용할 수 없는 한계와 DECT 촬영이 SECT 촬영에 비하면 노출되는 선량이 약 2~3배 증가한다는 단점은 부정할 수 없는 사실이다[10-12]. 현재 임상 CT 검사에서 방사선 피폭과 조영제 부작용에 따른 문제의 심각성은 우열을 가리기가 어렵다. 따라서 조영제의 부작용 우려 시 검사를 위한 방사선 피폭이 용인되는 범위 내에서는 DECT를 적용하여 조영제 사용을 줄이는 방법도 고려해야 할 것이다. 본 연구는 임상연구가 진행되지 않은 점은 제한점이지만 본연구 결과를 토대로 임상연구에 적용하여 결과를 도출하여 적용한다면 임상에서 조영제로 발생하는 일부 문제점을 해결할 수 있어 임상에서 유용하게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

CT 검사 시 조영제의 희석을 통해 농도를 감소시켜 사용하는 경우 영상의 대조도는 저하된다. 이를 해결하기 위해 DECT를 이용하여 희석률에 따른 적정에너지 레벨을 찾아 적용하는 것은 의미가 있었다. 향후 임상연구를 통해 검사부위별 적정 희석률과 에너지 레벨을 찾아 활용한다면 조영제로 기인한 다양한 문제를 해결할 수 있고 보다 우수한 화질의 영상을 제공할 수 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. 221-233, 2020. https://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] M. J. Shin, Y. J. Cho, "Management of adverse reaction to iodinated radiocontrast media", Journal of the Korean Medical Association, Vol. 55, No. 8, pp. 779-790, 2012. https://doi.org/10.5124/jkma.2012.55.8.779

[4] Yoshito Nakashima, Tsukasa Nakano, "Optimizing Contrast Agents with Respect to Reducing Beam Hardening in Nonmedical X-ray Computed Tomography Experiments", Journal of X-Ray Science and Technology, Vol. 22, No. 1, pp. 91-103, 2014. https://doi.org/10.3233/xst-130411

[5] M. K. Cho, S. Y. Lee, H. R. Kang, "Recent updates of iodinated contrast media hypersensitivity", Journal of the Korean Academy of Asthma, Allergy and Clinical Immunology, Vol. 8, No. 3, pp. 107-113, 2020. http://dx.doi.org/10.4168/aard.2020.8.3.107

[6] S. Hamid, M. U. Nasir, A. So, G. Andrews, S. Nicolaou, S. R. Qamar, "Clinical Applications of Dual-Energy CT", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 22, No. 6, pp. 970-982, 2021. https://doi.org/10.3348%2Fkjr.2020.0996

[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 (Basel, Switzerland), Vol. 11, No. 2, pp. 161, 2021. https://doi.org/10.3390%2Fdiagnostics11020161

[8] W. Cong, Y. Xi, B. De Man, G. Wang, "Monochromatic image reconstruction via machine learning", Journal of the Machine Learning: Science and Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 1-12, 2021. https://doi.org/10.1088/2632-2153/abdbff

[9] E. S. So, J. N. Shim, H. S. Kim, S. J. Yoon, Y. K. Kim, S. K. Park, "Evaluation of GSI(Gemstone Spectral Imaging) Mode for Contrast Reduction in Chest CT", Journal of Korean society of cumputed tomographic technology, Vol. 21, No. 2, pp. 67-75, 2019.

[10] Lisa M. Ho, Terry T. Yoshizumi, Lynne M. Hurwitz, Rendon C. Nelson, Daniele Marin, Greta Toncheva, Sebastian T. Schindera, "Dual Energy Versus Single Energy MDCT: Measurement of Radiation Dose Using Adult Abdominal Imaging Protocols", Journal of the Academic Radiology, Vol. 16, No. 11, pp. 1400-1407, 2009. https://doi.org/10.1016/j.acra.2009.05.002

[11] Y. K. Kim, Y. M. Kim, "Comparison of Estimated and Measured Doses of Dual-energy Computed Tomography", Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 41, No. 5, pp. 405-411, 2018. https://doi.org/10.17946/JRST.2018.41.5.405

[12] Y. S. Cho, W. K. Jeong, Y. S. Kim, J. N. Heo, "Radiation Doses of Dual-Energy CT for Abdominopelvic CT: Comparison with Single-Energy CT", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 65, No. 5, pp. 505-512, 2011. https://doi.org/10.3348/jksr.2011.65.5.505

CT 조영제 농도에 따른 영상 대조도 차 보상을 위한 DECT 적용의 유용성

김현주*

동남보건대학교 방사선학과

요 약

본 연구는 CT 검사 시 조영제로 기인한 화질 저하와 부작용을 감소시키기 위한 목적으로 식염수를 조영제에 일정 비율로 희석하였다. 이때 희석 정도에 따른 영상의 대조도 감소를 보상할 수 있는 DECT의 에너지 준위를 찾아 SNR, CNR, SSIM을 적용하여 비교 분석을 통해 영상 대조도 차 보상을 위한 DECT 적용의 유용성을 알아보았다. 그 결과 희석률 4(조영제) : 6(생리식염수), DECT의 에너지 준위 65 keV적용 시 조영제 원액을 사용했을 때와 가장 유사한 대조도 차가 형성되었고, 이때 SNR은 813.71±37.6, CNR은 921.87±17.1로 가장 높았으며, SSIM index가 1에 가장 유사한 0.851로 측정되었다. 본 연구결과는 향후 임상연구를 통해 검사부위별 적정 희석률과 에너지 레벨을 찾는 데 있어 기초정보를 제공하는 데 의미가 있으며 추가 임상연구 결과를 임상에 적용한다면 조영제로 기인한 화질 저하와 부작용 문제를 줄여줄 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 조영제, 생리식염수, 듀얼에너지 CT, 에너지 준위, 희석

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	김현주	동남보건대학교 방사선학과	교수