

A Study on Feasibility of Total Variation Algorithm in Skull Image using Various X-ray Exposure Parameters

Sung-Woo Park, Jong-In Lee, Youngjin Lee*

Department of Radiological Science, College of Health Science, Gachon University

Received: August 06 2019. Revised: October 01, 2019. Accepted: October 31, 2019

ABSTRACT

Noise in skull X-ray imaging is inevitable, which reduces imaging quality and diagnostic accuracy and increases errors due to the nature of digital imaging devices. Increasing the dose can attenuate noise, but that could lead to big problems with higher exposure dose received by patients. Thus, noise reduction algorithms are actively being studied at low doses to solve dose problems and reduce noise at the same time. Wiener filter and median filter have been widely used, with the disadvantages of poor noise reduction efficiency and loss of much information about imaging boundary. The purpose of this study is to apply total variation (TV) algorithm to skull X-ray imaging that can compensate for the problems of previous noise reduction efficiency to assess quantitatively and compare them. For this study, skull X-ray imaging is obtained using various kVp and mAs using the skull phantom using the X-ray device of Siemens. In addition, contrast to noise ratio (CNR) and coefficient of variation (COV) are compared and measured when noisy image, median filter, Wiener filter and TV algorithm were applied to each phantom imaging. Experiments showed that when TV algorithms were applied, CNR and COV characteristics were excellent under all conditions. In conclusion, we've been able to see if we can use TV algorithm to improve image quality and CNR could be seen to increase due to the decrease in noise as the amount of increased mAs. On the other hand, COV decreased as the amount of increased mAs, and when kVp increased, noise was reduced and the transmittance was increased, so COV was reduced.

Keywords: Skull phantom X-ray image, Total variation algorithm, X-ray exposure parameters, Quantitative evaluation

I . INTRODUCTION

X-ray가 1895년 뢰트겐에 의해 발견된 이후, 이를 기반으로 한 진단영상장치는 현재까지 꾸준히 개발되어 왔다. 외상에 의한 두개골의 골절, 뼈의 비후, 파괴와 같은 두개 내 질환에 의한 병변의 유무를 관찰하고 요즘은 뇌혈관 또는 뇌종양의 수술 전 위치를 파악하기 위해 검사를 하는 경우도 많다. 그리하여 skull X-ray 촬영이 더 많이 이루어지고 있다. 이러한 이유로 skull X-ray 촬영의 정확한 의료 진단을 위해서는 영상 화질의 향상이 매우 중요하다. 그러나 skull X-ray 영상에서 노이즈의 발생은 불가피하며, 이는 영상 화질과 진단 정확도를

저하시킬 뿐만 아니라 디지털 영상 장치의 특성상 오류를 증가시킨다. 이러한 노이즈는 선량을 증가시키면 쉽게 감소될 수 있지만, 환자가 받는 피폭 선량이 증가하여 더 큰 문제를 야기할 수 있다.^[1-2] 따라서 선량문제를 해결하고 동시에 노이즈를 줄이기 위해 저 선량에서 노이즈 감소 알고리즘이 활발히 연구되고 있다.^[3] 초기에 개발되고 널리 사용되어진 노이즈 감소 알고리즘에는 median filter와 Wiener filter가 있다. 그러나 이러한 알고리즘은 노이즈 감소 효율이 떨어지고 영상경계에 대한 정보가 많이 손실된다는 단점이 있다.^[4-5] 이러한 문제를 해결하기 위해 ROI (Region Of Interest)의 pixel값에 대하여 일정 영역을 설정하는 보편적인 방식을 취

* Corresponding Author: Youngjin Lee

E-mail: yj20@gachon.ac.kr

Tel: +82-32-820-4362

하지만, 영역의 전체적인 영상구성 변량(값)에 대한 상관성을 반영하여 열화영상을 복원하는 방법으로 이전 노이즈 감소 효율의 문제점을 보완할 수 있는 TV (Total Variation) 알고리즘이 개발되었다.^[6] 그러나 여러 분야에서 TV 알고리즘에 관한 연구가 많이 수행되어 왔지만, 이를 skull X-ray 영상에 적용하여 정량적으로 평가한 연구는 크게 이루어지지 않았다. 그러므로 본 연구의 목적은 초기에 개발된 펠터들과 제안하는 TV 알고리즘이 skull X-ray 영상에 적용 될 때 노이즈 감소량을 정량적으로 평가하고 분석하는 것이다. 정량적 평가요인으로는 변동계수 (Coefficient Of Variation, COV) 및 대조도 대 잡음비 (Contrast to Noise Ratio, CNR)를 사용하였다. 또한 여러 영상 촬영조건에 따른 결과를 분석하기 위하여 다양한 kVp와 mAs를 사용하여 실제 skull X-ray 팬텀 영상을 획득하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. TV 알고리즘 모델링

일반영상 저하는 다음과 같은 수식이 된다.

$$t(x,y) = r(x,y) + d(x,y) \quad (1)$$

여기서 $r(x,y)$ 는 노이즈가 없는 영상이고 $d(x,y)$ 는 오류(즉, 노이즈)를 나타내고 $t(x,y)$ 는 저하된 영상이다. 초기에는 영상의 노이즈 감소를 위해 median filter와 Wiener filter가 사용되어 왔다. 그러나 이 방법은 노이즈 감소 효율이 떨어지고 영상경계에 대한 정보가 많이 손실되는 단점이 있다. 그러한 이유로 우리는 마스크와 영상 간에 수학적 연산을 수행한 기존 노이즈 감소 기법과는 다른 TV 알고리즘을 사용한다. TV 알고리즘은 마스크에 있는 영상만을 처리함으로써 기존의 노이즈 감소 기법으로 인해 발생하는 흐릿한 현상을 보완할 수 있다. 따라서 각 마스크 영상의 픽셀 간 가중거리를 통해 영상 분포를 반영하기 때문에 더 좋은 영상 처리 결과를 얻을 수 있다. 여기에서 TV 알고리즘은 다음과 같이 쓸 수 있다.^[1]

$$\begin{aligned} \|u\| &= \sum_{l=1}^M \sum_{k=1}^N |\nabla u_{l,k}| \\ &= \sum_{l=1}^M \sum_{k=1}^N \sqrt{(u_{l,k} - u_{l-1,k})^2 + (u_{l,k} - u_{l,k-1})^2} \\ u^* &= \arg \min TV(u) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 M 과 N 은 각각 영상 u 의 행과 열의 수이다. 기본적으로 신호에서 TV는 영상의 인접 픽셀의 정보의 변화와 인접 픽셀의 gradient에서의 모든 차이를 합한 것이다. 그리고서 TV 알고리즘의 장점인 반복 알고리즘을 통해 영상의 각 픽셀 gradient를 최소화한다.

2. 사용장치 및 팬텀

스컬 영상 획득 장치는 Siemens사의 X-ray 장치를 사용하였고, 팬텀은 성인 skull을 모사할 수 있는 PBU-50 팬텀을 사용하였다. Fig. 1는 실제 실험에 사용한 팬텀 사진이다.



Fig. 1. The photo of used skull phantom.

3. 영상 획득 parameter

X-ray의 중심선과 팬텀의 중심을 맞춘 후, 관전압을 74 kVp로 고정 후 관전류량을 8, 16, 그리고 32 mAs로 변화시켰고, 이어서 관전류량을 12.5 mAs로 고정 후 관전압을 65, 75, 그리고 90 kVp로 변경하면서 영상을 획득하였다.

4. 영상 성능평가

4.1 Coefficient of variation (COV)

COV는 표준편차를 평균값으로 나눈 수치를 말하며 상대적 픽셀 값 범위 분포로 평가할 수 있는 수학적 의미를 가진다. 각 픽셀의 평균값을 구하여 특정 영역이 전부 똑같이 된 상태에서 상대적인 노이즈 분포가 있는지 여부를 판단하는 영상 성능 평가방법이다. 따라서 COV가 작을수록 영상의 노이즈가 줄어든다. COV 공식은 다음과 같다.

여기서 S_K 는 ROI의 평균값이고, N_K 는 ROI의 표준 편차이다. COV는 Fig. 2 (a)의 ROI 1을 사용하였다.

$$COV = \frac{N_K}{S_K} \quad (3)$$

4.2 Contrast to noise ratio (CNR)

CNR은 대조도 대 잡음비로 노이즈에 대한 ROI의 대조도를 보여줄 수 있다. 따라서 CNR이 높을수록 영상 성능이 향상된다. CNR의 공식은 다음과 같다.

여기서 S_P 는 background 영역에서 평균값이고 N_P 는 background 영역에서 표준 편차이다. CNR은 Fig. 2 (a)의 ROI 1과 ROI 2를 사용하였다.

$$CNR = \frac{|S_K - S_P|}{\sqrt{N_K^2 + N_P^2}} \quad (4)$$

III. RESULTS AND DISCUSSION

Figs. 2 (a), (b), 그리고 (c)는 조사조건을 12.5 mAs로 관전류량을 고정한 후 kVp 값을 각각 65, 75 그리고 90으로 설정하여 촬영한 skull 팬텀 영상과 각각의 알고리즘을 적용한 영상이다. 그리고 Figs. 3 (a), (b), 그리고 (c)는 조사조건을 74 kVp로 관전압을 고정한 후 mAs 값을 각각 8, 16, 그리고 32로 설정하여 촬영한 skull 팬텀 영상과 각각의 알고리즘을 적용한 영상이다.

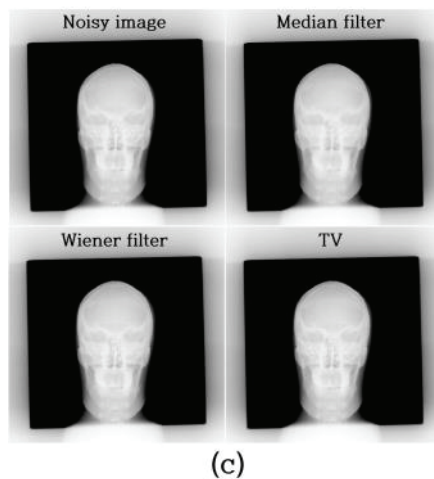
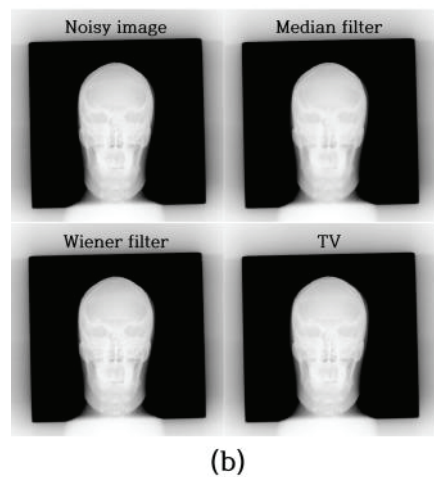
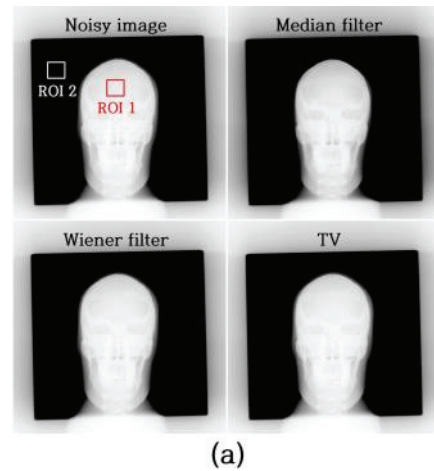
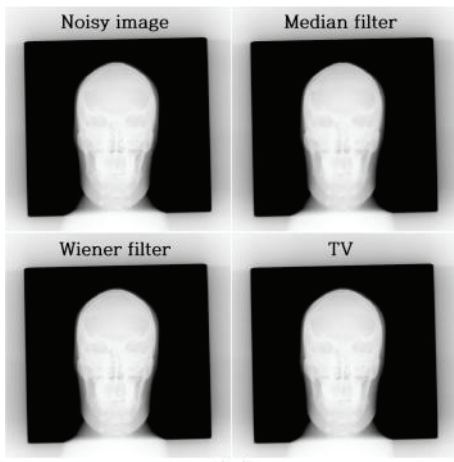
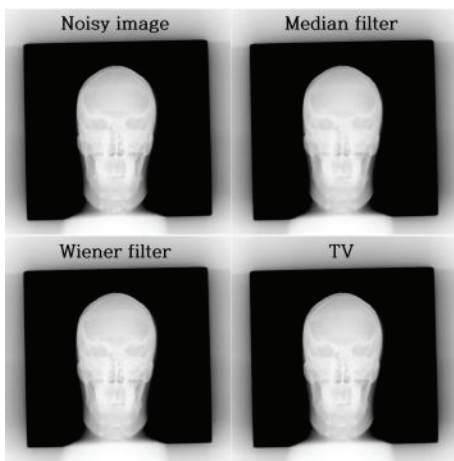


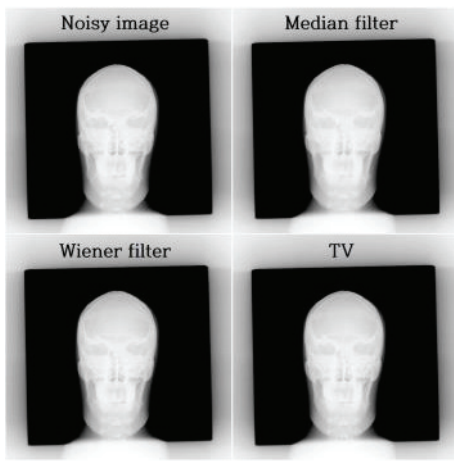
Fig. 2. Result images for including various noise reduction algorithms at fixed 12.5 mAs using (a) 65, (b) 75, and (c) 90 kVp.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Result images for including various noise reduction algorithms at fixed 74 kVp using (a) 8, (b) 16, and (c) 32 mAs.

Fig. 4 (a)는 관전류량을 일정하게 고정하고 관전압을 각각 65, 75 그리고 90 kVp로 변화를 주었을 때의 CNR의 그래프이다. 65 kVp에서의 영상에 noisy image, median filter, Wiener filter, TV 알고리즘을 적용하였을 때 CNR 값은 각각 30.98, 33.28, 85.35, 그리고 93.57로 TV 알고리즘을 적용한 영상이 noisy 영상에 비하여 약 3.02배가 상승하였다. 75 kVp에서는 CNR 값은 각각 31.08, 33.58, 88.66, 그리고 96.17으로 noisy 영상에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 CNR 값이 3.09배 상승하였다. 90 kVp에서는 CNR 값은 각각 32.34, 34.07, 93.36, 그리고 102.05으로 noisy 영상에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 CNR 값이 3.15배 상승하였다.

Fig. 4 (b)는 관전압을 일정하게 한 뒤, 관전류량을 각각 8, 16, 그리고 32 mAs일 때 CNR을 비교한 그래프로 8 mAs일 때의 영상에 noisy image, median filter, Wiener filter, TV 알고리즘을 적용하였을 때 CNR값은 각각 27.12, 30.54, 84.25 그리고 92.32로 noisy 영상에 비하여 TV 알고리즘을 적용하였을 때 3.40배 상승하였다. 16 mAs일 때의 영상에서는 CNR값은 각각 32.02, 33.41, 88.64 그리고 95.81로 noisy 영상에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 3.08배 상승하였다. 마지막으로 32 mAs로 관전류량을 주었을 때 각각 36.48, 38.14, 90.97 그리고 98.65으로 CNR 값이 2.70배 상승하였다.

Fig. 5 (a)는 관전류량을 12.5 mAs로 일정하게 한 뒤, 관전압을 각각 65, 75, 그리고 90 kVp로 조건을 변화하였을 때의 영상에서 COV를 측정하여 비교한 그래프이다. 관전압의 조건을 65 kVp로하고, 이를 통해 얻어낸 영상에 noisy image, median filter, Wiener filter, TV 알고리즘을 적용하였을 때 COV는 각각 4.11, 4.02, 1.53 그리고 1.34로 TV 알고리즘을 적용하였을 때가 적용하지 않는 noisy 영상에 비해 3.06배 상승하였다. 관전압을 75 kVp로 조건을 설정하였을 때에 COV 값은 각각 4.01, 3.90, 1.41, 그리고 1.24로 noisy image에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 3.23배 상승하였다. 마지막으로 관전압을 90 kVp로 설정한 영상에서 COV를 측정하였을 때 각각 3.99, 3.76, 1.30, 그리고 1.14으로 약 3.50배 상승하였다.

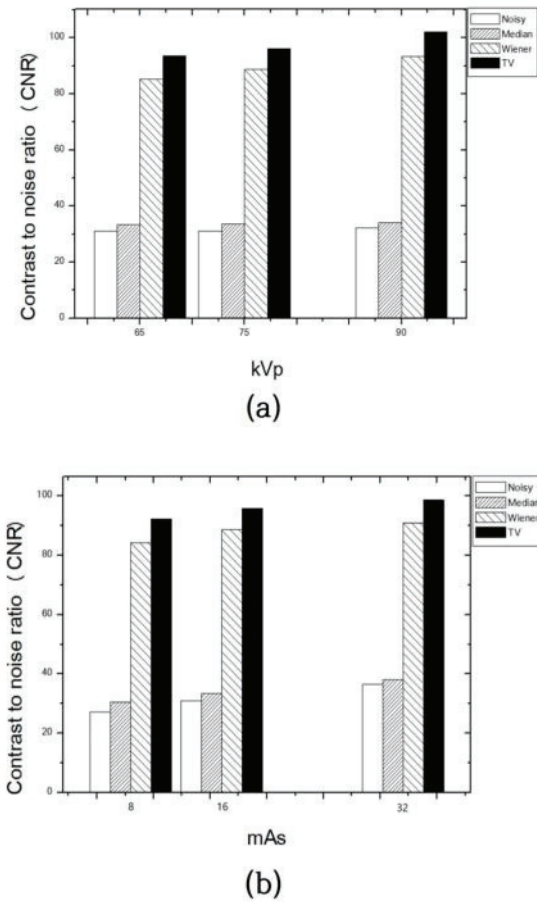


Fig. 4. The CNR result at (a) fixed mAs for various kVp and (b) fixed kVp for various mAs.

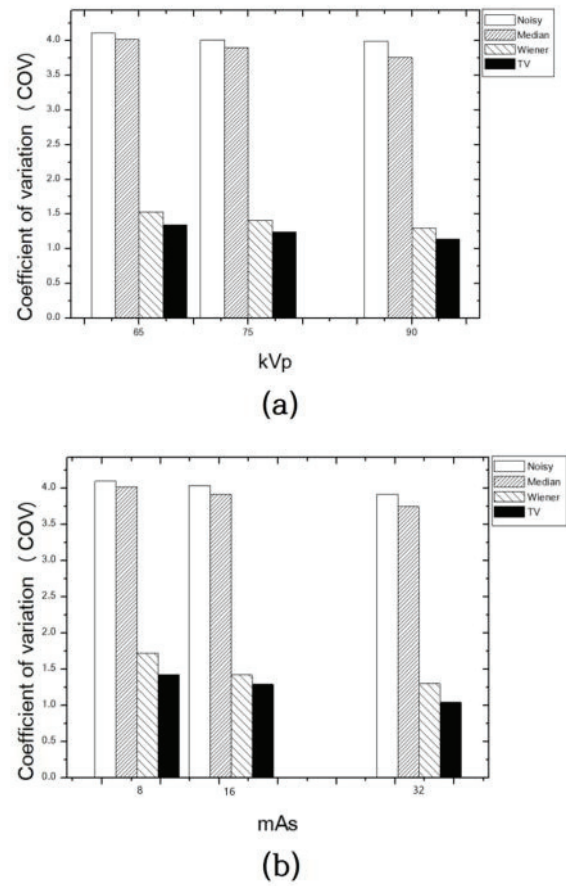


Fig. 5. The COV result at (a) fixed mAs for various kVp and (b) fixed kVp for various mAs.

Fig. 5 (b)는 관전압을 일정하게 한 뒤, 관전류량을 8, 16, 그리고 32 mAs일 때 COV를 비교한 그래프로 8 mAs일 때의 영상에 noisy image, Median filter, Wiener filter, TV 알고리즘을 적용하였을 때 COV는 각각 4.10, 4.02, 1.72, 그리고 1.42로 noisy 영상에 비하여 TV 알고리즘을 적용하였을 때 2.88 배 상승하였다. 16 mAs일 때의 영상에서는 COV가 각각 4.04, 3.92, 1.42 그리고 1.29로 noisy 영상에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 3.13배 상승하였다. 마지막으로 32 mAs로 관전류량을 주었을 때의 영상에서 COV가 각각 3.92, 3.75, 1.30 그리고 1.04으로 noisy영상에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 3.76배 상승하였다.

위와 같은 실험을 통하여 TV 알고리즘을 적용하였을 때, 모든 조건에서 CNR과 COV 특성이 우수함을 확인할 수 있었다. 관전류량을 고정된 실험에서 CNR의 결과를 살펴보면 TV 알고리즘이 noisy image, median filter, Wiener filter 보다 각각 평균적으로 3.08, 2.88 그리고 1.08배가 효과적으로 적용되는 것을 알 수 있었고, COV의 결과는 TV 알고리즘이 noisy image, median filter, Wiener filter 보다 각각 평균적으로 3.26, 3.14 그리고 1.13배 정도 효과를 보는 것을 알 수 있었다. 또한 kVp를 고정된 실험에서도 CNR의 결과가 각각 평균적으로 3.06, 2.82 그리고 1.08배의 효과가 나타났고, COV에서도 각각 평균적으로 3.25 3.15 그리고 1.18배의 효과가 나타났음을 알 수 있었다. 결과적으로 TV 알고리즘의 방법이 median filter, Wiener filter에 비하여 모

든 조사조건에서 효과적으로 노이즈를 감소시키는 것을 확인하였다.

IV. CONCLUSION

결론적으로 이번 연구를 통해 알 수 있던 것으로는 TV 알고리즘을 사용하여 영상의 질을 높일 수 있는지에 대해 확인해 보았고, CNR값은 관전류량이 증가할수록 노이즈가 감소함으로 인해 증가하였으며, 관전류량이 낮은 조건일수록 TV 알고리즘과 noisy image간의 CNR 값의 차이가 더 큼으로 효율적이라는 것을 알 수 있었다. 반면에, COV는 관전류량이 증가할수록 감소하였으며, 관전압이 증가하였을 때 noise는 감소하고 투과량이 증가하여 COV가 감소하는 것을 알 수 있었다.

Acknowledgement

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2016R1D1A1B03930357). Also, Sung-Woo Park and Jong-In Lee contributed equally to this work.

Reference

- [1] K. Seo, S. Kim, S. Kang, J. Park, C. Lee and Y. Lee, "The Effects of Total Variation (TV) Technique for Noise Reduction in Radio-Magnetic X-ray Image," *Journal of Magnetics*, Vol. 21, No. 4, pp. 593-598, 2016.
- [2] D. H. Kim, Y. G. Lee and Y. Lee, "Optimization Study of Digital X-ray Imaging with Dual Energy Subtraction Method," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 53 No. 10, pp. 1584-1588, 2016.
- [3] S. Min and M. kang, "3D Non-local Means(NLM) Algorithm Based on Stochastic Distance for Low-dose X-ray Imaging with Dual Energy Subtraction Method," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 53 No.10, pp. 1584-1588, 2016.
- [4] J. Lim and E. Kim, "Noise Reduction by Filter Improvement in Mixed Noise Image," *Journal of The Institute of Electronics Engineers*, Vol. 50, No. 5, pp.

231-241, 2013.

- [5] J. Goldstein, I. Reed and L. Scharf, "A multistage representation of the Wiener filter based on orthogonal projections," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 44, No. 7, pp. 2943-2959, 1998.
- [6] W. Yu and S. Kang and Y. Lee and Y. Lee, "Evaluation of Image Performance with Various Regularization Parameters using Total Variation(TV) Noise Reduction Algorithm : a Simulation Study," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 55, No. 3, pp. 146-150, 2018.

다양한 X-ray 촬영조건을 이용하여 획득한 skull 영상에서의 Total Variation 알고리즘의 가능성 연구

박성우, 이종인, 이영진*

가천대학교 보건과학대학 방사선학과

요 약

Skull X-ray 영상에서 노이즈의 발생은 불가피하며, 이는 영상 화질과 진단 정확도를 저하시키고 디지털 영상 장치의 특성상 오류를 증가시킨다. 이러한 노이즈는 선량을 증가시키면 쉽게 감소되긴 하지만 환자가 받는 피폭선량이 더 큰 문제를 야기할 수 있다. 그래서 선량문제를 해결하고 동시에 노이즈를 줄이기 위해 저 선량에서 노이즈 감소 알고리즘이 활발히 연구되고 있는데, 초기에 개발되고 널리 사용되어진 median filter와 Wiener filter는 노이즈 감소 효율이 떨어지고 영상경계에 대한 정보가 많이 손실된다는 단점이 있다. 본 연구의 목적은 이전 노이즈 감소효율의 문제점을 보완할 수 있는 total variation (TV) 알고리즘을 skull X-ray 영상에 적용하여 정량적으로 평가하고 비교를 하는 것이다. 이를 위해 Siemens사의 X-ray 장치를 사용하여 성인 skull을 모사할 수 있는 팬텀을 통해 다양한 관전압과 관전류량을 사용하여 실제 skull X-ray 팬텀 영상을 획득하였다. 또한, 각각의 팬텀 영상에 noisy image, median filter, Wiener filter, TV 알고리즘을 적용하였을 때의 대조도 대 잡음비 (CNR)와 변동계수 (COV)를 비교 측정했다. 실험 결과 TV 알고리즘을 적용하였을 때, 모든 조건에서 CNR와 COV 특성이 우수함을 확인할 수 있었다. 결론적으로 이번 연구를 통해 TV 알고리즘을 사용하여 영상의 질을 높일 수 있는지에 대해 확인해 보았고, 이론적으로 CNR 값은 관전류량이 증가할수록 노이즈가 감소함으로 인해 증가하는 것을 알아볼 수 있었다. 반면에, COV는 관전류량이 증가할수록 감소하였으며 관전압이 증가하였을 때 noise는 감소하고 투과량이 증가하여 COV가 감소하는 것을 알아볼 수 있었다.

중심단어: X-선 skull 팬텀 영상, Total variation 알고리즘, X-선 조사조건, 정량적 평가

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박성우	가천대학교 방사선학과	학부생
(공동저자)	이종인	가천대학교 방사선학과	학부생
(교신저자)	이영진	가천대학교 방사선학과	교수