

<원저>

늑골 방사선검사 시 X선관 초점-영상수신체간 거리에 따른 환자선량과 화질의 연관성 평가

주영철¹⁾·정영진²⁾

¹⁾삼성서울병원 영상의학과 · ²⁾동서대학교 방사선학과

Evaluation of Relationship between Radiation Dose and Image Quality according to Source to Image Receptor Distance in Rib Series Radiography

Young-Cheol Joo¹⁾·Young-Jin Jung²⁾

¹⁾Department of Radiology, Samsung Medical Center

²⁾Department of Radiological Science, Dongseo University

Abstract The purpose of this study was to compare and analyze the patient dose according to the distance between the X-ray tube focus and the image receptor, and to propose a new method for quantitatively evaluating the image quality. Using this quantitative evaluation method, the optimal distance for increasing x-ray image quality with low radiation dose was estimated between source and image receptor in Rib series radiography. Phantom images were obtained by changing the distance between focus and image receptor (100 cm and 180 cm). The patient radiation dose was estimated using entrance surface dose and dose area product. In order to evaluate image quality objectively, a non-reference image evaluation method was employed with paper and salt noise and Gaussian filter. As a result of this study, when the SID was changed from 100 cm to 180 cm, the entrance surface dose decreased by 4 ~ 5 times and the dose area product decreased by 3 times. In addition, there is no significant difference in image quality between of SID 180 cm and SID 100 cm. In conclusion, it was demonstrated that performing the rib series radiography at SID 180 cm is an optimal method to reduce the exposure dose and improve the image quality.

Key Words : Rib series, Rib fracture, Source to image receptor distance, Paper and salt, Gaussian filter

중심 단어 : 늑골 방사선검사, 늑골 골절, 영상 수용체간 거리, 후추와 소금 노이즈, 가우시안 필터

1. 서 론

흉부에는 폐(lung)와 심장(heart) 그리고 대동맥(aorta) 등과 같이 인간의 생명에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 장기들이 있다. 늑골(rib)은 흉부에 가해지는 외부의 충격으로부터 생명에 직접적인 영향을 줄 수 있는 장기들을 보호하고 있다. 흉부 손상의 가장 흔한 형태는 몸의 가속과 충돌에 의한 감속으로 인한 손상으로 자동차 사고가 가장 흔한 예

이다[1]. 대부분의 흉부 손상은 70%가 외부충격에 의해 발생된다. 늑골골절(rib fracture)은 흉부외상의 10~15%를 차지하고, 가장 흔한 손상이며, 사망률은 25%로 매우 높은 편이다[2,3]. 외부충격에 의한 늑골골절은 단독으로 발생하기 보다는 다른 장기의 손상과 동반하는 경우가 많기 때문에 손상의 중증을 나타내는 지표가 된다. 골절 빈도가 가장 높은 위치는 4~9번 늑골이다. 1~2번 늑골골절은 대동맥과 같은 큰 혈관에 손상을 초래할 수 있고, 10~12번 늑골

This work was supported by the BB21+ project in 2018

Corresponding author: Young-Jin Jung, Department of Radiological Science, Dongseo University, Global Village (Room 318) in Dongseo University, 47 Jurye-R, Sasang-Gu, 47011, Republic of Korea / Tel: Office Phone: +82-51-320-2871 / E-mail: microbme@dongseo.ac.kr

Received 27 August 2018; Revised 11 October 2018; Accepted 12 October 2018

Copyright ©2018 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

골절은 간(liver)과 비장(spleen)에 위험한 영향을 미칠 수 있다[4].

늑골 방사선검사(rib series; RS)는 흉부 외상 및 늑골골절 의심 시 시행하는 기본적인 영상의학과적 검사이다. RS는 환자통증 부위를 영상수용체(image receptor; IR)에 밀착시킨 후 검사한다. 대부분의 검사방법 관련 서적에서는 환자의 통증 호소 부위에 따라 상부와 하부 늑골로 구별하여 검사할 것을 권고하고 있다[5-7]. 검사 자세는 흉부 전면을 또는 후면을 밀착시키고 검사하는 자세와 사위(oblique)로 검사하는 방법이 있고, X선관 초점과 영상수용체간 거리(source to image receptor distance; SID)는 100 cm이다[5,7]. 현재 이용되고 있는 검사 방법은 짧은 SID로 인해 흉곽(thorax)전체가 포함되지 못하는 경우가 있다. 그로 인해 환자는 여러 번 방사선에 노출되어야 한다. 흉부외상에 의한 늑골골절은 다발성으로 발생한다는 특성을 고려해 보았을 때, 흉곽(thorax)전체를 한번의 방사선 조사로 검사하는 것이 환자의 피폭선량 감소와 의료영상 정보량 확대를 위해 유리한 선택이라 생각된다.

임상에서는 일반적으로 화질 평가 방법으로 신호 대 잡음비(signal to noise, SNR)과 대조도 대 노이즈(contrast to noise ratio; CNR)를 이용하고 있다. 하지만 SNR과 CNR은 서로 상호 반대성을 지니는 특성을 가지고 있어 한가지가 옳다고 말할 수 없다. 또한 의료 영상은 참값 영상(true image)를 정확히 알 수 없기 때문에 참값을 추정하는 방식으로 진행되어 왔다.

이에 본 연구에서는 RS 검사 시 SID 변화에 따른 환자선량을 비교 분석하였고, 객관적이고 정량적인 기법을 통해 평가할 수 있는 방법을 새롭게 도입하였다. 공간영역에서의 비참조 영상 화질 평가 기법(no-reference image quality assessment in the spatial domain)을 적용하여 가상의 노이즈를 첨가했을 때와, 그러하지 않는 경우의 영상을 비교 분석하여 그 유효성에 대해서 고찰하였고, 실제 임상데이터에 적용하여 SID 100 cm와 180 cm 화질의 정량적 평가를 진행하였다. 이를 통해 RS 검사 시 적은 선량과 양질의 화

질을 제공할 수 있는 SID를 제시하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 흉부팬텀(76-083, Victoreen)을 대상으로 하였다. XGO 80(Samsung electronics, Korea) X선 발생장치를 사용하였으며, 선량 측정을 위해 Unfos Xi(RaySafe, Sweden)를 이용하였다.

2. 연구방법

자세는 IR에 팬텀의 전면을 밀착시킨 후전방향 자세(postero-anterior position, PA)와 IR에 팬텀의 우측전면이 밀착되도록 회전시킨 우전사방향 자세(right antero-posterior oblique position, RAO)로 진행하였다. 검사조건은 SID는 100 cm와 180 cm로 변화시켰다. 검사 조건은 75 kVp, 200 mA, 100 ms(milli-seconds)로 고정시키고, SID 변화에 따른 피부표면선량과 화질이 차이를 비교 분석하였다.

1) 선량 측정방법

본 연구에서는 입사표면선량(entrance surface dose; ESD)과 면적선량(dose area product; DAP)를 측정하였다.

ESD 측정을 위한 이온-챔버(ion-chamber)의 위치는 PA의 경우 흉추(thoracic spine) 5번과 9번 사이에, RAO의 경우 PA와 같은 높이에서 좌측 견갑골 내측연(medial border of scapular) 옆에 세로로 위치시켰다(Figure 1). DAP 측정기는 장비 자체에 설치되어 있는 DAP 측정기를 이용하였다. SID 100 cm와 180 cm에서 각각 30회 선량을 측정하였다. ESD는 선량계에서 제시하는 값을, DAP는 장비에서 제시하는 값을 연구자가 직접 기록하였다.

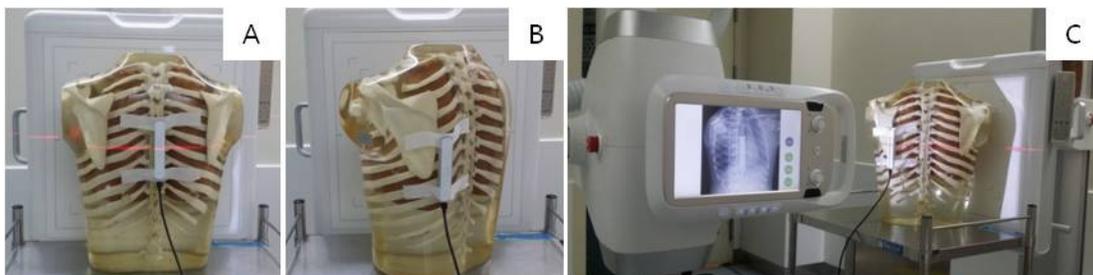


Fig. 1 It is measuring method of ESD in postero-anterior(A) and right anterior oblique(B) position. C is picture about measurement of entrance surface dose(ESD).

2) 화질 측정방법

본 연구에서는 임상 의료영상의 경우, 영상평가에 활용되어야 하는 비교 가능한 참조 영상(참조영상, reference image)의 부재를 극복하기 위한 공간영역의 영상평가 기법인 비참조 영상 평가방법(Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator; BRISQUE)을 적용하여 영상점수(image quality score; IQS)를 평가하는 방법을 적용하였다. 이 방법은 2012년 Mittal가 제안한 방법으로 통계기법 기반영상 평가 툴로, 기존에 널리 사용되는 웨이블릿, 이산코사인변환 등의 특징기반 기법이 적용되지 않는 기법으로, 현재 널리 활용되고 있는 peak signal to noise ratio(PSNR), 구조 유사성지표(structural similarity index)등의 결과보다 우수한 성능을 나타내는 것으로 보고되었다[14,15]. 본 연구에서 적용한 BRISQUE를 이용하여 평가하고자 하는 영상과, 노이즈를 인위적으로 첨가한 2가지 원본영상에서 변형된 그룹 영상을 평가하였다. 노이즈를 첨가하는 첫번째 영상 집단은 "Paper and salt noise"를 원본 영상의 분산 값의 0.02에 비율에 해당하는 크기로 노이즈를 부여하였으며, 두번째 노이즈 첨가 영상 집단은 가우시안 필터(Gaussian filter)를 적용하여 2 시그마(sigma)크기의 노이즈를 첨가하였다.

3) 자료분석 방법

자료 분석은 각 조건에서 측정된 ESD와 DAP 그리고 BRISQUE를 통해 측정된 값의 합을 평균으로 계산으로 분석하였으며, 기술통계를 제시하였다. 자료의 정규성 검정은 Shapiro-Wilk test로 확인하였으며, 그 결과 귀무가설을 채택하였다. SID 180 cm와 100 cm에서 선량과 화질 차에 대한 평균비교를 위해 독립표본 t검정(independent t-test)을 시행했다.

통계프로그램은 SPSS(version 22.0, SPSS, Chicago, IL, USA)를 사용하였고, 통계적 유의수준 α 는 0.05 (p -value 0.05) 이하를 통계적으로 유의한 것으로 설정하였다.

III. 결 과

1. SID 변화에 따른 ESD의 평균 비교

RS PA에서 SID 180 cm와 100 cm에서 ESD의 평균값은 각각 $283.82 \pm 1.08 \mu\text{Gy}$ 와 $1262.66 \pm 6.40 \mu\text{Gy}$ 이었다. RS RAO의 경우 SID 180 cm에서 ESD의 평균값은 $337.33 \pm 1.27 \mu\text{Gy}$ 이었으며, SID 100 cm의 평균 ESD는 $1765.46 \pm 11.79 \mu\text{Gy}$ 로 나타났다.

SID 변화에 따른 각 자세 별(RS PA와 RS RAO) ESD 평균값의 차이는 두 자세 모두 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($p < 0.01$), (Table 1).

2. SID 변화에 따른 DAP의 평균 비교

RS PA 180 cm의 평균 DAP값은 $4.69 \pm 0.15 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$ 이었고, 100 cm에서는 $12.14 \pm 0.06 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$ 으로 나타났다. RS RAO자세에서 180 cm와 100 cm의 DAP 평균값은 $4.84 \pm 0.01 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$ 와 $12.57 \pm 0.08 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$ 이었다.

RS RA와 RAO 두 자세에서 SID 변화에 따른 DAP 평균값의 차이는 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($p < 0.01$), (Table 2).

3. SID 변화에 따른 화질 평가

Original과 paper & salt, Gaussian filter를 적용한 PA와 RAO 자세에서 SID 변화에 따른 화질평가 결과는 다음과 같다(Table 3), (Figure 2).

Original의 경우 PA 자세 영상에서 SID 180 cm와 100 cm의 평균 IQS는 22.23 ± 0.07 과 28.77 ± 0.36 으로 나타났으며, RAO에서 평균 IQS는 SID 180 cm는 20.83 ± 0.12 , SID 100 cm는 28.14 ± 0.29 이었다. PA와 RAO 모두 SID 변화에 따른 IQS 차이는 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$).

Paper & salt를 적용한 영상에서 PA의 SID 180 cm와 100 cm IQS 평균값은 58.24 ± 0.03 과 56.27 ± 0.05 이었으며,

Table 1. Result for comparison of ESD mean according to SID change

position	SID (cm)	mean \pm SD(μGy)	min	max	t	p
PA	180	283.82 ± 1.08	281.00	285.30	-825.619	0.01
	100	1262.66 ± 6.40	1248.00	1269.00		
RAO	180	337.33 ± 1.27	333.50	338.90	-659.123	0.01
	100	1765.46 ± 11.79	1715.00	1774.00		

1. SID is Source Image receptor Distance, SD is standard deviation
 2. p is calculated independent t-test

Table 2. Result for Comparison of DAP mean according to SID change

position	SID (cm)	mean±SD(dGy*cm ²)	min	max	t	p
PA	180	4,69±0,15	4,65	4,72	-658,078	0,01
	100	12,14±0,06	12,00	12,21		
RAO	180	4,84±0,01	4,78	4,86	-506,459	0,01
	100	12,57±0,08	12,20	12,63		

1. SID is Source Image receptor Distance, SD is standard deviation

2. p is calculated independent t-test

Table 3. Result for Comparison of image quality score (IQS) according to SID change

Image quality tool	position	SID (cm)	mean±SD (image quality score)	min	max	t	p
original	PA	180	22,23±0,07	22,04	22,35	-97,006	0,01
		100	28,77±0,36	28,33	29,32		
	RAO	180	20,83±0,12	20,60	21,11	-123,948	0,01
		100	28,14±0,29	27,81	29,06		
paper & salt	PA	180	58,24±0,03	58,15	58,29	181,009	0,01
		100	56,27±0,05	26,19	56,39		
	RAO	180	55,47±0,11	55,25	55,62	-21,272	0,01
		100	55,97±0,01	55,77	56,11		
Gaussian filter	PA	180	51,72±0,04	51,65	51,82	-31,654	0,01
		100	52,08±0,04	51,97	52,19		
	RAO	180	51,28±0,08	51,13	51,42	6,915	0,01
		100	51,16±0,04	51,03	51,24		

1. SID is Source Image receptor Distance, SD is standard deviation

2. p is calculated independent t-test

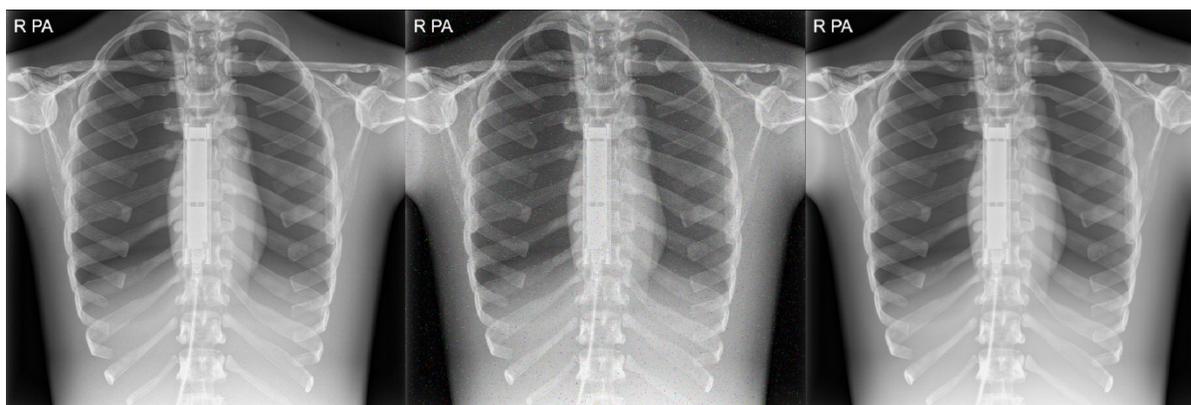


Fig. 2 This is Rib PA images used this study. An image is original image, B is Rib image was applied noise with paper & salt, C is burr Rib image with Gaussian filter.

RAO에서는 55,47±0,11과 55,97±0,01로 나타났으며, PA와 RAO에서 SID별 평균값의 차이는 통계적으로도 유의한 차이가 있었다($p<0,01$).

Gaussian filter를 이용한 영상의 IQS 평균값은 PA의 경우 SID 180 cm은 51,72±0,04, SID 100 cm는 52,08±0,04

이었고, RAO의 경우 SID 180 cm는 51,28±0,08, SID 100 cm는 51,16±0,04로 나타났다. PA와 RAO 모두 SID 변화에 따른 IQS의 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p<0,01$).

IV. 고 찰

능골골절의 사망률은 11~17%로 보고되고 있다[10]. 능골골절로 인한 흉강 내 손상으로 기흉, 혈흉, 폐좌상 등이 생길 수 있고, 능골골절의 부위에 따라 큰 혈관의 파열 및 복부장기 손상을 동반하는 경우가 있어 세심한 관찰이 필요하다[11].

능골골절 진단을 위한 영상의학과적 검사방법으로는 흉부방사선검사(chest radiography; CRs), RS와 전산화단층촬영(computed tomography; CT), 초음파(ultrasound; US) 등이 이용되고 있다. CRs와 비교했을 때 RS는 적은 X선 에너지를 이용하여 rib의 적절한 대조도 영상을 보여줄 수 있는 장점이 있다. CT는 RS에 비해 진단에 대한 민감도와 특이도가 높다. 하지만 RS에 비해 피폭선량이 많고, 비용 및 시간에 대한 제약으로 인해 단순흉부타박상(minor blunt trauma of thorax) 진단을 위해서는 RS가 더 유용하게 이용되고 있다[8]. US는 RS와 CT처럼 방사선 피폭 없이 진단할 수 있으며, RS에 비해 진단적 민감도가 높은 진단 결과를 제공할 수 있다는 몇몇 연구 결과가 있다. 하지만 검사자의 능력에 따라 민감도의 차이가 매우 심하다[9]. 이러한 장점으로 인해 현재 RS는 능골골절 진단을 위한 기본적인 검사로 이용되고 있다.

현대 영상의학은 빠른 속도로 필름과 증감지 방식(film-screen system; F/S)에서 디지털영상 방식(digital radiography system; DR)으로 변화하고 있다. DR은 F/S에 비해 적은 선량으로 관용도 및 대조도가 높은 영상을 구현할 수 있다. 또한 대부분의 DR 영상들은 영상의 확대와 축소 기능을 제공하고 있다. 그럼에도 불구하고 대부분의 임상에서는 F/S에서 이용하던 검사법을 DR에서 동일하게 이용하고 있다.

본 연구에서 PA와 RAO 자세의 SID 100 cm와 180 cm에서 각각 측정된 ESD와 DAP의 차이는 다음과 같이 나타났다. ESD는 SID를 100 cm에서 180 cm로 변경하였을 때, PA position에서는 약 4.4배, RAO position에서는 5.2배의 ESD 감소 효과가 있었다. SID 100 cm에서 180 cm로 변경했을 경우, DAP값의 변화는 PA와 RAO position 모두 약 3배의 DAP 감소 효과가 있었다.

과거 화질 평가를 위해서 주로 사용되었던 방법은 SNR 혹은 CNR 등을 간단히 사용하였다. 그러나 SNR과 CNR은 서로 상호 반대성을 지니는 특성을 가지고 있듯이, 한가지 항목이 반드시 옳은 영상의 질 평가를 나타낸다고 할 수 없는 단점을 가지고 있다. 특히 SNR의 경우에는 공간영역의 질 평가에 이상적인 평가 방법이 될 수 있지만, 이는 영상의 참값 영상(true image)을 정확히 알고 있다는 가정이 존재한

다. 그러나, 임상 현장의 의료 영상의 경우, 영상의 참값을 구할 수 있는 방법이 존재하지 않기 때문에 참값을 그대로 사용하지 못하고, 추정하는 방법을 사용하여 왔다[12,13]. 이러한 방법은 유의미한 근사적인 값을 얻을 수 있으나, 추정된 참값이 반드시 옳다는 가정이 전체가 된다.

본 연구에서는 SID 100 cm와 180 cm에서 얻은 RS 영상의 화질 및 환자의 피폭선량 비교 분석을 통해, RS를 위한 최적의 SID를 구하고자 하였다. 비록, 숙련된 방사선사 및 의사의 경우에도 위의 영상에서 질적 평가를 통해 충분히 구별할 수 있겠지만, 연구의 재현성 및 객관성 확보를 위해 정량적인 분석 방법인 비참조 영상 화질 평가 기법(no-reference image quality assessment in the spatial domain)을 새롭게 적용하여 가상의 노이즈를 첨가했을 때와, 그렇지 않았을 때 영상의 비교분석을 평가하였다. 두가지 노이즈 첨가 시 결과와 비-첨가 시 결과에서 매우 큰 IQS점수차가 존재하였다. 이는 노이즈 비-첨가 시 SID 100 cm와 180 cm에서 측정된 IQS점수 값의 2배를 넘기는 값의 차이를 나타내었다. 이는 실제 임상데이터에 적용에서 SID 100 cm와 180 cm 화질의 정량적 평가치 차이는 큰 의미가 없음을 추론할 수 있다. 비록 SID 100 cm와 180 cm의 정량적 영상평가값 사이에는 유의미한 점수차이가 존재하지만, 여기서 점수치는 100 cm보다 180 cm가 더 좋은 영상으로 나타난다는 것으로 실제 임상에 적용 시 환자의 피폭선량은 적은 180 cm 촬영이 유리할 수 있다는 점을 시사한다.

본 연구에서는 실제 환자가 아닌 팬텀을 이용하여 영상을 측정했다는 한계점이 있다. 추후 실제 환자 영상을 이용한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구에서는 PA와 RAO position으로 RS 시행 시 SID를 100 cm와 180 cm로 변화시켰을 때 환자가 받는 방사선 선량과 영상의 화질평가를 정량적으로 비교하였다. 본 연구의 결과 SID를 100 cm에서 180 cm로 변경했을 경우 환자가 받는 표면선량은 4~5배 감소하였고, 면적선량은 3배 정도 감소하는 효과를 확인할 수 있었다. 또한 영상 화질 평가에서는 노이즈 첨가 후 평가되는 정량적 평가 점수와의 비교를 통해서 SID 180 cm가 화질의 큰 차이가 없거나 더 좋은 평가 점수를 획득함과 동시에, 피폭선량 또한 적게 할 수 있는 방법임을 확인할 수 있었다. 이는 현재의 디지털 방사선 검출기에 적용하던 전통적인 아날로그 방식의 무비판적인 임상 적용에 있어서, 추가적인 연구와 실험을 통해서 디지

털 검출기에 최적화된 새로운 촬영 기법의 개발이 필요함을 확인할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Gabram SG, Schwartz RJ, Jacobs LM, et al. Clinical management of blunt trauma patients unilateral rib fractures: a randomized trial. *World J Surg.* 1995; (19):388-93.
- [2] Bugar EM, Ameson MA, Mock CN, et al. Rib fractures in the elderly. *J Trauma* 2000;(48):1040-7.
- [3] Baker SP, O'Neil B, Haddon Jr W, Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma.* 1974;(14):187-96.
- [4] Kim HY, Kim MY. Management of Patient with Rib Fractures: Analysis of the Risk Factors Affecting the Outcome. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2001;(43):285-91.
- [5] Martensen KM. Radiographic Image Analysis. 3rd ed. EKSEVIER. 2011.
- [6] The Korean Society of Medical Imaging Technology. TEXTBOOK of Radiographic Positioning and Clinical Diagnosis. 3rd ed. CHUNG-GU. 2008.
- [7] Kim HS, Kim HS, Moon HS, et al. Radiographic Imaging. Daihaks. 2008.
- [8] Hoffstetter P, Dornia C, Suwaidi MHA, Niessen C, et al. Clinical Significance of Conventional Rib Series in Patients with Minor Thoracic Trauma. *Forstsch R ntgenstr* 2014;(186):876-80.
- [9] Park JB, Cho YS, Choi HJ. Diagnostic accuracy of the inverted grayscale rib series for detection of rib fracture in minor chest trauma. *American Journal of Emergency Medicine.* 2015;(33):548-552.
- [10] Poole GV, Myers RT. Morbidity and mortality rates in major blunt trauma to the upper chest. *Ann Surg.* 1981;(193):70-75.
- [11] Harris GJ, Soper RT. Pediatric first rib fractures. *J Trauma.* 1990;(30):343-5.
- [12] Park HY, Pyeon D, Kim DH, Jung Y. Dynamic Computed Tomography based on Spatio-temporal Analysis in Acute Stroke : Preliminary Study. *Journal of Radiological Science and Technology.* 2016;39(4):543-47.
- [13] Pyeon DY, Kim JS, Baek CH, Jung YJ. Singular Value Decomposition based Noise Reduction Technique for Dynamic PET Image : Preliminary study. *Journal of Radiological Science and Technology.* 2016; 39(2):227-36.
- [14] Mittal A, Moorthy AK, Bovik AC. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain. *IEEE Transactions on Image Processing.* 2012; 21(12):4695-4708.
- [15] Mittal A, Moorthy AK, Bovik AC. Referenceless Image Spatial Quality Evaluation Engine. Presentation at the 45th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, November 2011.