

Original Article

전신 뼈검사에서의 영상 평가 연구

연세의료원 세브란스병원 핵의학과¹, 고려대학교 방사선과²

권오준¹ · 허 재² · 이한울¹ · 김주연¹ · 박민수¹ · 노동욱¹ · 강천구¹ · 김재삼¹

Study on Image Quality Assessment in Whole Body Bone Scan

Oh Jun Kwon¹, Jae Hur², Han Wool Lee¹, Joo Yeon Kim¹, Min Soo Park¹, Dong Ook Roo¹, Chun Goo Kang¹ and Jae Sam Kim¹

¹Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea;

²Radiologic science, Korea University, Seoul, Korea

Purpose Whole body bone scan, which makes up a largest percentage of nuclear medicine tests, has high sensitivity and resolution about bone lesion like osteomyelitis, fracture and the early detection of primary cancer. However, any standard for valuation has not yet been created except minimum factor. Therefore, in this study, we will analysis the method which show a quantitative evaluation index in whole body bone scan.

Materials and Methods This study is conducted among 30 call patients, who visited the hospital from April to September 2014 with no special point of view about bone lesion, using GE INFINIA equipment. Enumerated data is measured mainly with patient's whole body count and lumbar vertebrae, and the things which include CNR (Contrast to Noise ratio), SNR (Signal to Noise ratio) are calculated according to the mean value signal and standard deviation of each lumbar vertebrae. In addition, the numerical value with the abdominal thickness is compared to each value by the change of scan speed and tissue equivalent material throughout the phantom examination, and compared with 1hours deleyed value. Completely, on the scale of ten, 2 reading doctors and 5 skilled radiologists with 5-years experience analysis the correlation between visual analysis with blind test and quantitative calculation.

Results The whole body count and interest region count of patients have no significant correlation with visual analysis value throughout the blind test ($p < 0.05$). There is definite correlation among CNR and SNR. In phantom examination, Value of the change was caused by the thickness of the abdomen and the scan speed. And The poor value of the image in the subject as a delay test patient could be confirmed that the increase tendency.

Conclusion Now, a standard for valuation has not been created in whole body bone scan except minimum factor. In this study, we can verify the significant correlation with blind test using CNR and SNR and also assure that the scan speed is a important factor to influence the imagine quality from the value. It is possible to be some limit depending on the physiology function and fluid intake of patient even if we progress the evaluation in same condition include same injection amount, same scan speed and so on. However, that we prove the significant evaluation index by presenting quantitative calculation objectively could be considered academic value.

Key Words CNR (Contrast to Noise ratio), SNR (Signal to Noise ratio)

서 론

- Received: 2015. 4. 3 Accepted: 2015. 4. 30
- Corresponding Author: **Oh Jun Kwon**
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System
50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749, Korea
Tel: +82-2-2228-4860, Fax: +82-2-2227-7062
E-mail: sosemfdksk2@hanmail.net

전신 뼈검사는 골수염과 골절, 방사선 치료의 예후 평가 및 악성 종양 전이의 조기 발견 등 뼈 병변에 대해 높은 민감도를 가진 검사이며, 핵의학 검사 중 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 특히 환자에게 비침습적인 검사이며, 전신에 걸쳐 관찰이



(General Electric Healthcare, Wisconsin, MI, USA).

Fig. 1. This research is studied using INFINIA gamma camera

용이하므로, 추적검사로 널리 사용되고 있다. 전신 뼈검사는 뼈 친화성 방사성 동위원소인 ^{99m}Tc -DPD (Dicarbo-xypropane diphosphonate), MDP (Methylenediphosphonate), HMDP (Hydroxymethy-lene diphosphonate)를 표지한 방사성의약품을 사용한다.

방사성의약품의 집적정도는 뼈의 무지질 변화, 혈류, 재구 축과 교체율 같은 생물학적 인자에 의해 좌우되며, 혈류가 감소되면 냉소로, 증가하면 열소로 관찰된다. 환자에게 투여한 의약품은 뼈, 갑상선, 심장, 간, 신장 등 다양한 장기에 집적이 되며, 환자에 따라 크게 다른 영상의 질을 나타낼 수 있다. 또한, 같은 환자의 경우에도 체중의 증가 등 변화에 의해 추적검사시 동일한 영상의 질을 나타내지 못할 수 있다. 따라서, 전신 뼈검사시 균일한 영상의 질을 나타내기 위해서는 정량적인 평가지표를 필요로 한다.

현재 전신 뼈검사는 전신검사와 정적검사로 시행하고 있으며, 전신검사의 최저계수치는 1000 kcounts, 정적검사의 경우, 흉부의 400 kcounts 를 기준으로 하여 Time Set Method를 사용하고 있다. 그러나, 이러한 최저계수치를 제외한 평가 기준이 마련되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 신호 대 잡음비와 대조도 대 잡음비를 이용하여, 전신 뼈검사의 적절한 평가지표를 분석해보고자 한다.

대상 및 방법

1. 임상 연구(Patient Study)

본 연구는 2014년 4월부터 2014년 9월까지 본원을 내원하여 전신 뼈검사를 시행한 환자 중, 특이 골병변 질환이 없는 환자군 30명을 대상으로 진행하였다. 전체 환자 연령의 범위는 23세에서 65세였고, 평균 44.3 ± 4.3 세였다. 검사는 ^{99m}Tc -HDP 1,110 MBq (30 mCi)를 정맥 주사 후, 체내 정상 분포를 위해 3

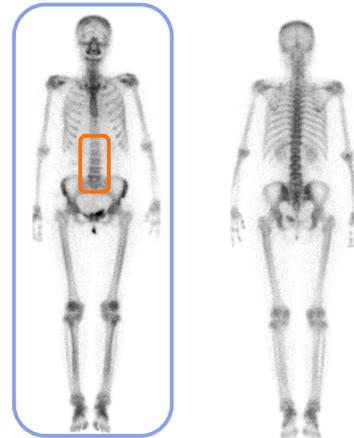


Fig. 2. The counted value of the region of interest relative to the body and Lumbar Bone on the Anterior and Posterior Image were acquired.

시간 후에 진행하였으며, 환자 모두에게 500 ml 이상의 수분 섭취를 권하였다. 영상은 저에너지 고분해능용 조준기를 장착한 Infinia (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA) 장비를 사용하였고, 화소수는 256×1024 , 에너지창의 크기 및 폭은 $140 \text{ keV} \pm 20\%$ 를 적용하고, 확대율은 1로 설정하며, Auto body counter 기능을 이용하여 획득하였다(Fig. 1).

1) 계수치의 측정

같은 조건에서 검사를 진행하기 위하여, ^{99m}Tc -HDP를 1,110 MBq (30 mCi) 정맥 주사 후 3시간 뒤에 검사를 실시하였으며, 동일한 감마카메라 장비(Infinia)를 사용하여, 환자의 테이블의 이동 속도를 분당 16 cm으로 고정하여, 전신 검사를 실시하였다. 주사 후, 탈수에 의한, 영상의 질 감소를 방지하기 위해 500 ml 이상의 수분 섭취를 권하였으며, 영상에서의 방광 내 소변에 의한 불필요한 계수의 증가를 방지하기 위해 검사 직전, 환자들에게 배뇨를 실시하였다. 또한, 주사 시, 혈관 외 누출과 같이 검사 외적으로 계수를 증가시키는 요인을 배제하도록 노력하였다. 획득한 전신영상의 전면상과 후면상의 전체 영역과 허리뼈 영역을 관심 영역으로 직사각형으로 설정하여 계수치를 산출하였다(Fig. 2).

2) CNR, SNR의 측정

전이성 병소로 확인되는 악성종양은 대부분 적색골수에 존재한다. 따라서, 성인의 경우, 척추를 주로 침범하며, 소아의 경우 긴 뼈에서도 확인된다. 뼈전이는 척추에서 약 40%가 전이되며, 갈비뼈와 복장뼈에 약 30%, 골반뼈에 10% 가량이 전이된다. 따라서, 본 논문에서는 전신 뼈검사 영상에서 다른 뼈

$$CNR = \frac{(Background \quad SI_{avg} - ROI \quad SI_{avg})}{\sqrt{(Background \quad SD^2 + ROI \quad SD^2)}}$$

$$SNR = \frac{(Background \quad SI_{avg} - ROI \quad SI_{avg})}{ROI \quad SD}$$

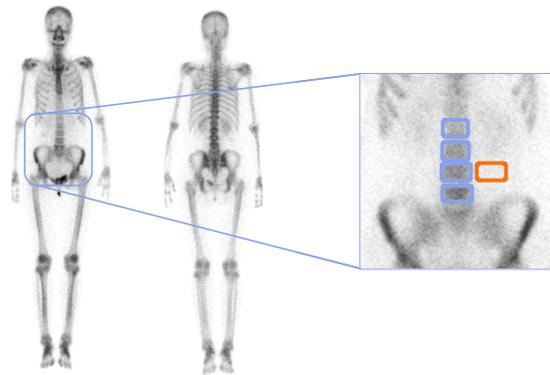


Fig. 3. ROI was set to Lumbar 1-4 and background ROI was set to the same size as in the abdomen.



Fig. 4. (A) The dose in the phantom 37, 74, 185, 370 MBq is changed, and measured five times. (B) Bolus

열소부위 겹치지 않고, 환자의 체형에 대한 변화를 나타낼 수 있는 허리뼈를 기준으로 설정하였다. 대조도 대 잡음비 (Contrast to Noise Ratio)와 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio)은 1번부터 4번까지의 허리뼈를 각각 관심영역으로 설정하고, 같은 크기의 백그라운드 영역을 다른 열소 부위와 겹치지 않는 복부에 설정하여, 계수치를 구한 뒤, 다음과 같은 공식으로 계산하였다(Fig. 3).

3) Blind Test

육안적 영상 해상도의 평가를 위해 핵의학과 판독의 2명과 5년 이상의 실무경험을 가진 방사선사 5명이 각각 10점 척도로 하여 blind test 방법으로 평가하여, 관심 영역의 계수치와, SNR 및 CNR의 상관관계를 SPSS, Ver. 17을 이용하여 비교 분석하였다.

4) 지연영상의 비교

^{99m}Tc-인산화합물은 정맥주사 2~3시간 후에는 투여량의 50~60%가 뼈에 분포하고 나머지는 요로계를 통하여 배설되며, 2~4%는 신장 실질에 축적된다. 인산염의 단백질결합은 시간이 갈수록 적어지므로, 소변으로의 배설과 뼈 섭취가 많아

져 뼈/연조직 비가 높다. 따라서, 육안적 영상의 질이 좋지 않은 환자들 5명을 대상으로 하여, 1시간 추가 지연검사를 실시하였으며, 검사 사이에는 직전검사와 동일하게, 충분한 수분 섭취와 검사 직전 배뇨를 실시하였다. 검사 후, 영상의 계수치, CNR 및 SNR을 비교하였다.

2. 팬텀 연구(Phantom Study)

저에너지 고분해능용 조준기를 장착한 Infinia (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA) 장비를 사용하였고, 에너지창의 크기 및 폭은 140 keV±20%를 적용하고, 확대율은 1로 설정하며, Auto body counter 기능을 이용하여 최대한 밀착하여, 영상을 획득하였다. 영상 분석은 임상 연구와 동일하게, 각 팬텀에 관심영역을 설정 후, 같은 크기의 백그라운드를 설정하여 CNR과 SNR을 산출하여, 비교 분석하였다.

1) 선량

허리뼈를 형상화한 직사각형의 팬텀을 이용하여, 테이블의 이동속도는 분당 16 cm 으로 고정하였으며, 팬텀 내, 선량을 37, 74, 185, 370 MBq 로 변경시키며, 각 5회 실시하였다(Fig. 4-A).

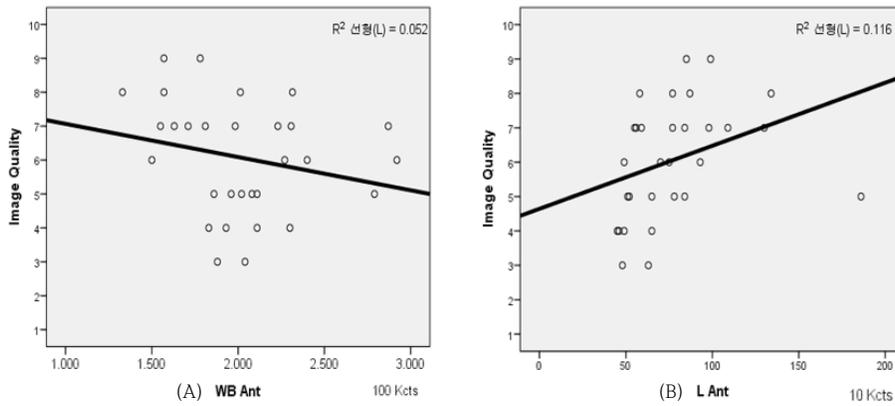


Fig. 5. (A) The graph shows the correlation between the quality factor and total counts on the anterior image in the Whole Body Bone Scan. (B) The graph shows the correlation between the quality factor and total counts on the anterior image in the region of Interest(From 1 to 4 at The Lumbar) in the Whole Body Bone Scan.

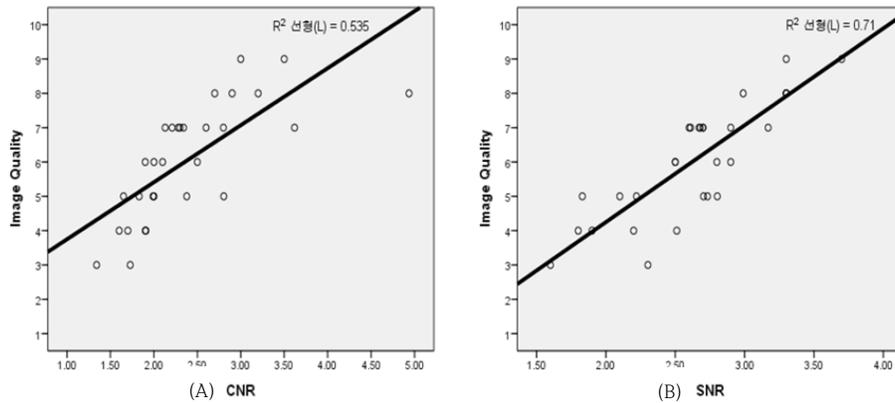


Fig. 6. (A) The graph shows the correlation between the quality factor and Contrast to Ratio Calculated from The Lumbar show linearity. (B) The graph shows the correlation between the quality factor and Signal to Ratio Calculated from The Lumbar show linearity.

(2) 검사 속도

팬텀 내 선량을 고정 시키고, 테이블의 이동속도를 분당 5, 10, 15, 20, 25 cm 으로 변경시키며, 각 5회 실시하였다.

(3) 조직등가물질의 두께

추가적으로 실제 환자에서의 복부 두께를 재현하기 위해 조직등가물질(Bolus)를 팬텀 윗부분에 부착하여, 1 cm 부터 5 cm 까지 1cm 단위로 변화시켜, 두께에 따른 수치의 변화를 알아보고자 하였다(Fig. 4-B).

결 과

1. 임상 연구(Patient Study)

1) 계수치와 Blind test 비교 분석

전신 뼈검사는 환자들의 수분 공급 상태, 신기능, 산란물질,

연령 및 주사 후 스캔 시간 등에 따라, 집적 정도가 달라진다. 영상의 계수치는 복부 및 연조직의 백그라운드 높을수록 전체 계수치는 높아지는 경향을 보였으며, Blind test를 통한 육안적 영상 해상도와의 상관관계를 분석하였을 때, 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다($P>0.05$)(Fig. 5).

2) CNR, SNR 과 Blind test 비교 분석

허리뼈를 기준으로 영상을 분석하였을 때, 복부 두께를 제외한 다른 산란 요인을 크게 줄일 수 있었으며, 환자의 나이가 어릴수록, 신기능이 정상일수록, CNR 및 SNR은 증가하는 경향을 보였으며, Blind test를 통한 육안적 영상 해상도와의 상관관계를 분석하였을 때, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($P<0.05$)(Fig. 6).

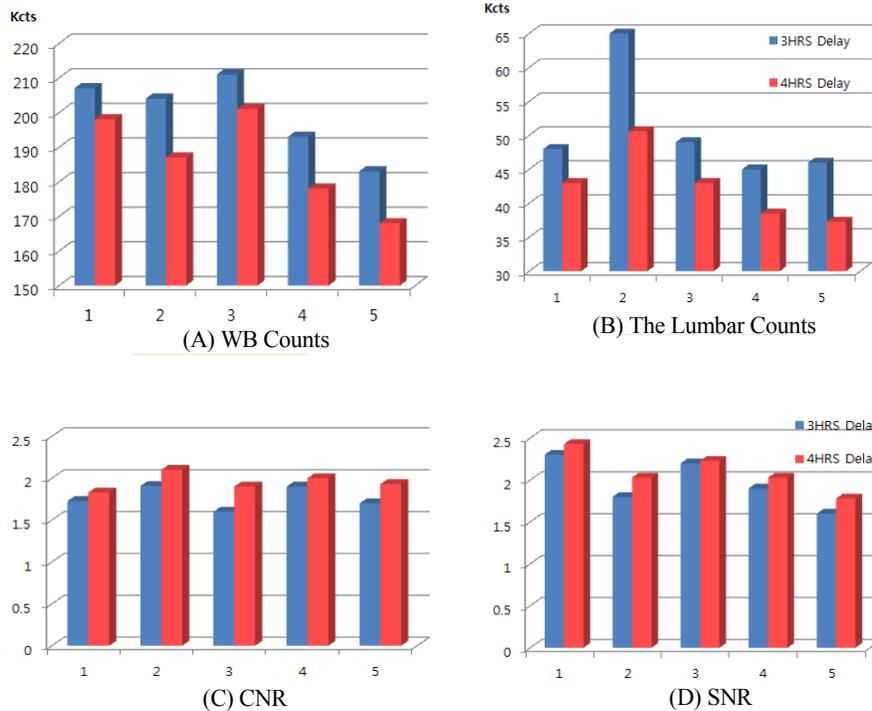


Fig. 7. This graphs are a compariosn of the 3-4 hours delay image, the images delay counts are decreased and, CNR and SNR tended to increase, (A) A comparison graph for the whole body counter value, (B) A comparison graph for the Lumbar value, (C) A comparison graph for the CNR, (D) A comparison graph for the SNR.

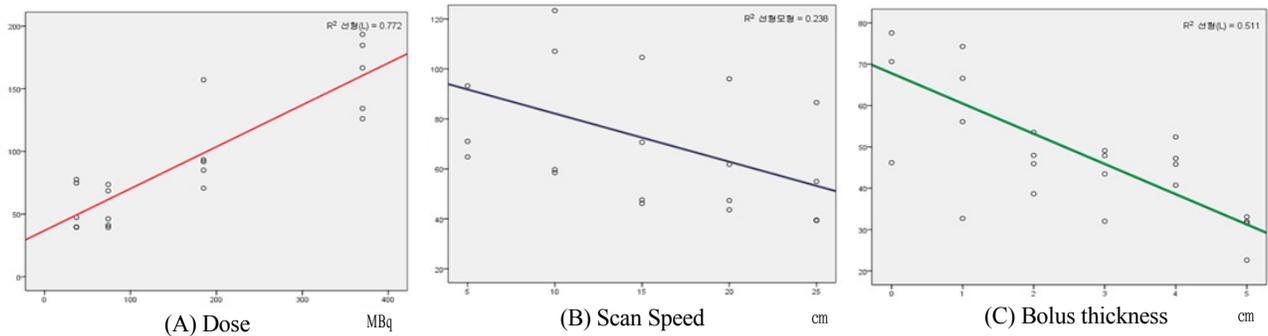


Fig. 8. (A) In graph, as the dose increases, the increase CNR. (B) In graph, as the Scan speed increases, the decrease CNR. (C) In graph, as the Bolus thickness increases, the increase CNR.

3) 지연영상의 비교

1시간 추가 지연검사를 진행한 환자 5명 모두에게서, 방사성의약품의 유효 반감기로 인해 계수치는 감소하였으나, CNR 및 SNR은 다소 증가하는 경향이 나타났다(Fig. 7).

2. 팬텀 연구(Phantom Study)

1) 대조도 대 잡음비(Contrast to Noise Ratio)

팬텀 내 선량, 검사 속도 및 조직등가물질(Bolus)의 두께의

변화에 따른 CNR의 비는 선량이 클수록, 검사 속도가 느릴수록, Bolus의 두께가 얇을수록 증가하는 선형적으로 증가함을 보였다(Fig. 8).

2) 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)

SNR은 수치 변화에 따른 경향성이나 상관관계를 보이지 않았다. 이는 팬텀연구시 백그라운드를 구현하지 못하였기 때문에 사료된다(Fig. 9).

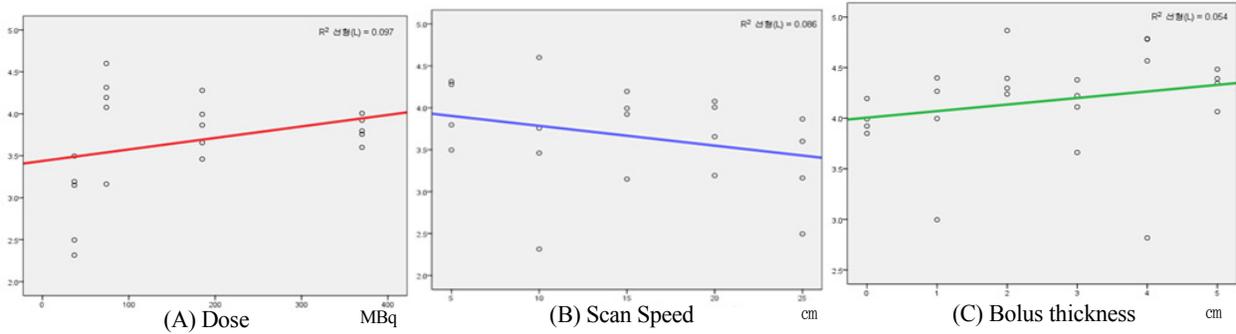


Fig. 9. Unlike the CNR, SNR do not have a correlation between each element. This is because the background has not been considered.

결론 및 고찰

일반적으로 전신 뼈 검사는 핵의학과에서 가장 흔히 시행하는 검사이며, 추적검사 시 영상의 질의 비일관성은 판독 및 진단적 가치의 저하를 초래할 수 있으므로, 영상의 질의 유지하는 것은 중요하다. 전신 뼈검사 영상에서의 계수치가 영상의 질을 의미하지 않는 것을 본 논문을 통해 알 수 있다. 따라서, 새로운 정량적인 평가지표가 마련되어야 할 것이다. 본 연구에서의 허리뼈를 관심영역으로 하는 CNR 및 SNR은 영상의 질을 반영하는 좋은 정량적인 지표가 될 수 있었다.

검사 속도를 느리게하여 뼈/연조직의 섭취비를 크게 할 수 있을 것이라는 것과 지연검사에서 방사성의약품의 단백결합은 시간이 갈수록 적어지며, 배설과 뼈 섭취가 많아져 영상의 질이 우수해질 것이라는 것은 이미 예측된 결과이다. 이를 수치적으로 어느 정도 우수해지는 지는 본 연구와 같은 평가 방법으로 확인 될 수 있을 것이다.

그러나, 본 연구에서는 특이질환이 없는 추적검사(Follow) 환자를 대상으로 진행하여, 영상의 질을 좌우하는 다양한 요인들(수분공급상태, 탈수정도, 검출기와와의 거리, 환자의 연령, 방사성의약품의 표지율 및 주사 후 스캔 시간 등)을 최대한 일관되게 유지하고자 하였으나, 그에 따른 보정은 하지는 않아, 환자 개개인의 특성이 정확히 고려되지 않았다. 또한, 척추의 병변을 가진 환자를 대상으로 하지 않았으므로, 실제 임상에서 유용하게 쓰이지 않지만, 전신 뼈검사서 정량적인 평가 지표를 확인하여, 신뢰성과 진단적 가치를 높였다는 것에 학술적인 의의를 부여할 수 있다.

요 약

전신 뼈검사는 골수염과 골절 및 원발성 암의 조기 발견 등 골 병변에 대해 높은 민감도와 해상도를 가진 검사이며, 핵의

검사에서 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 그러나 최저 계수치를 제외한 평가 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서 전신 뼈검사서 정량적인 평가 지표를 나타낼 수 있는 방법을 분석해보고자 하였다.

본 연구는 2014년 4월부터 2014년 9월까지 본원을 내원한 특이 골병변소견이 없는 환자 30명을 대상으로 GE INFINIA 장비에서 진행하였다. 환자의 전신계수와 허리뼈를 관심영역으로 하여, 계수치를 측정하였으며, 허리뼈 각각의 신호평균값과 표준편차를 구하여, 대조도 대 잡음비(Contrast to Noise Ratio, CNR), 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 산출하였고, 팬텀 실험을 통해 검사 속도 변화에 따른 각각의 수치와 조직등가물질을 이용하여 복부 두께에 따른 수치를 비교 하였다. 그리고, 판독의 2명과 5년 이상의 경력을 가진 숙련된 방사선사 5명이 각각 10점 척도로 하여, Blind test로 육안적인 분석치와 정량적인 산출치 간의 상관관계를 분석하였다.

환자의 전신 계수치와 관심영역의 계수치는 Blind test를 통한 육안적인 분석치와 유의한 상관관계를 보이지 않았다 ($P>0.05$). 대조도 대 잡음비와 신호 대 잡음비는 육안적인 분석치와 유의한 상관관계를 보였다 ($P<0.05$). 팬텀 실험에서는 검사 속도가 느릴수록, 조직등가물질의 두께가 얇을수록 각 수치는 향상되는 것을 보였으며, 지연검사에서 영상의 질이 향상됨을 확인하였다.

현재 전신 뼈검사서 최저 계수치를 제외한 평가 기준이 마련되어있지 않다. 이에 본 연구에서는 대조도 대 잡음비 및 신호 대 잡음비를 이용하여 Blind test와의 유의한 상관관계를 확인 할 수 있었으며, 검사 속도가 영상의 질을 좌우하는 인자라는 것을 수치를 통해 확인하였다. 본 연구에서는 동일한 주입량, 동일한 검사 속도 등 동등한 조건에서의 평가를 진행하였지만, 환자의 생리적 기능과 수분 섭취량 등에 따라 모든 특성을 고려하는 것에 한계가 존재한다. 그러나 객관적으로 정량적 수치를 제시하여, 유의한 평가 지표를 입증하였다는 데

에 학술적 의미가 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. 고창순, 핵의학. 제 3판. 고려의학 2008. P629-631.
2. 핵의학 영상기술, 대한핵의학기술학회, 대한핵의학기술학회.
3. 1. Sang Moo Rhim, Ran Jae Park, Byung Tae Kim et al. : Evaluation of Extraosseous Abnormalities Detected in Bone Scan, The Korean Journal of Nuclear Medicine, Vol. 16, No. 1, 1982.
4. J. K. Chung, M. C. Lee : Koh Chang Soon Nuclear Medicine, Korea Medical Publisher Co, 2008.
5. B. David Collier, Abdelhamid H. Elgazzar, Magdy M. Khalil : Technical Errors in Planar Bone Scanning, J. Nucl. Med. Technol. 2004; 32: 148-153.
6. Cho yong in, A Study of Bone Uptake According to Renal Function in the Whole Body Bone Scan, 방사선기술과학, Vol. 36, No. 4, 2013.
7. The Correction Factor of Sensitivity in Gamma Camera - Based on Whole Body Bone Scan Image -, Chun Eun Mi, J Nucl Med Technol Vol. 12, No. 3, November 2008.