

Original Article

^{99m}Tc -DMSA 검사에서 상대 신섭취율 산출 시 양면상 촬영의 유용성에 대한 고찰

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

김주연 · 이한울 · 권오준 · 김정열 · 박민수 · 조석원 · 강천구 · 김재삼

Study on the Usefulness of Using Anterior and Posterior Views for Calculation of Total Relative Uptake Ratio in ^{99m}Tc -DMSA Renal Scan

Joo-Yeon Kim, Han-Wool Lee, O-Jun Kwon, Jung-Yul Kim, Min-Soo Park, Seok-Won Cho, Chun-Goo Kang and Jae-Sam Kim

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

Purpose

^{99m}Tc -DMSA renal scintigraphy serves as location, size and shape of kidney, so it has been used for diagnosis and passage observation after the operation or treatment. There are 3 methods of calculating the relative renal uptake ratio such as geometric mean of the counts from the anterior and posterior views, arithmetical mean from the only posterior view and posterior view which applied the renal depths. In this study, we seek to correlation between the change of total relative uptake ratio according to different inspection methods of obtaining the renal count rate.

Materials and Methods

The phantom experiments proceeded 5 times depending on each renal depth with the kidney phantom and tissue equivalent materials. In the clinical research, we investigated 36 adult patients who had visited our hospital from february to october, 2014 and received ^{99m}Tc -DMSA renal scan. The equipment was used as a gamma camera named INFINIA (General Electric Healthcare, milwaukee, USA) and we drew the region of interests through semiautomatic method by using Xeleris Ver. 2.1220 of GE. In addition, we obtained the lateral view of kidney to measure the renal depth of each patient. Then the results were compared with 3 methods of calculating relative renal uptake ratio.

Results

The phantom studies show when the difference between the left ant right kidney depth were less than 1 cm, there were no statistically significant difference among values calculated through anterior and posterior views and only posterior view ($P>0.05$), while the excess of 1cm, the results showed a statistically significant change in the value ($P<0.05$). In case of clinical research, the correlation between total relative uptake ratio by obtaining both sides of image and posterior view applied the kidney depth ($r=0.999$) was higher than by obtaining only posterior view and applying the kidney depth to one side image ($r=0.988$).

Conclusion

This study has found that, the difference of calculating total relative uptake ratio compared with obtaining anterior and posterior views and only posterior view. In order to reduce the error, we recommend the method of obtaining anterior and posterior views and is considered to be useful, particularly the patients have similar uptake ratio of left and right kidney and difficulties of measurements of kidney depth.

Key Words

total relative uptake ratio, geometric mean, renal depth, posterior view, anterior and posterior views

서론

- Received: 2015. 4. 3 Accepted: 2015. 4. 30
- Corresponding author: **Joo-Yeon Kim**
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: sfullmoon@naver.com

신장은 강낭콩 모양으로 아래쪽 배의 등쪽에 쌍으로 존재하며 간의 위치 때문에 오른쪽 신장은 왼쪽 신장에 비해 아래쪽에 위치한다. 콩팥실질은 겉질과 속질로 구성되고 속질은 다시 외층과 내층으로 구분되며 콩팥실질은 8-12개 이상의 추체

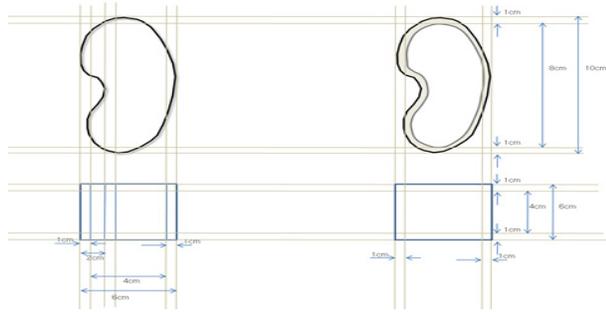


Fig. 1. The general drawing of the left and right kidney phantoms based on a normal adult kidney.

를 형성하고 있다. 신장은 노폐물을 배설하고 산염기 및 전해질 대사 등 체내 항상성 유지 및 호르몬을 생산하고 활성화시키는 내분비 기능을 담당하는 중요한 장기 중 하나이다. 양쪽 신장의 무게는 전체 체중의 약 0.4%에 지나지 않지만 신장의 기능이 심하게 저하되거나 소실되면 생명을 유지하기 어렵기 때문에 총 심박출량의 20-25%가 신장으로 흘러 들어간다.

신장과 관련된 질병을 진단하기 위하여 요검사, 신우조영술, 신장 초음파검사, 컴퓨터 단층촬영 및 핵의학 검사가 이용되고 있으며, 핵의학 분야에서의 신장 검사는 크게 동적인 영상(dynamic image)과 정적인 영상(static image)으로 구분하여진다. 신장의 동적인 영상은 혈류 상태를 비롯하여 콩팥의 흡수 배설 기능을 평가하기 위한 목적이 있는 반면 정적인 영상은 콩팥의 위치, 크기 그리고 모양을 평가하기 위하여 시행되고, 주로 종양, 낭종, 농양과 같은 공간점유물의 유무와 위치, 크기 그리고 범위 등에 관한 정보를 알 수 있다¹⁻²⁾.

신장의 정적 검사 중 하나인 ^{99m}Tc-DMSA scan은 약품이 피질에 주로 섭취되어 신실질을 영상화하고 좌우 신장에 관심영역을 설정함으로써 상대 신섭취율을 평가할 수 있는 검사로 진단 및 치료 후 경과관찰에 많이 이용되고 있으며, 현재 임상에서 사용되고 있는 촬영 방법은 크게 후면상과 양면상 촬영법으로 나누어진다. 상대 신섭취율은 배후 방사능을 보정한 신장의 계수 값을 이용하여 산출되는데, 검사 시 신장의 상태 또는 환자가 눕는 각도 등에 따라 좌신과 우신의 깊이에 차이가 발생함에 따라 감쇠에 영향을 미쳐 계수 값이 변화될 수 있다³⁻⁴⁾. ^{99m}Tc의 경우 유효감쇠계수는 0.12/cm, 선상감쇠계수는 0.153/cm로 알려져 있으며 신장 깊이에 의한 감쇠 정도를 양면상 촬영을 통하여 교정할 수 있을 것으로 사료된다⁵⁾. 본 연구에서는 후면상과 양면상 촬영 시 그리고 후면상에 신장의 깊이를 적용한 경우의 상대 신섭취율 변화를 비교하여 보고 이에 따른 상관관계를 통해 양면상 촬영의 유용성에 대해 알아보고자 한다.

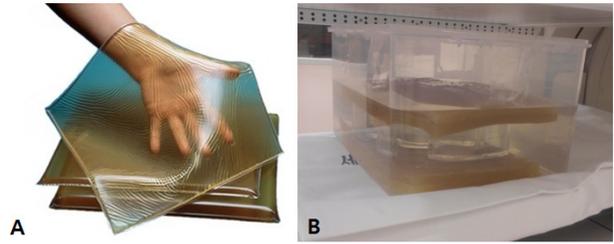


Fig. 2. A: Bolus, B: The picture of experiments consist of kidney phantom, bolus, water and the container.

실험 대상 및 방법

1. 팬텀 연구

1) 신장팬텀 제작 및 인체환경 구축

신장팬텀(kidney phantom)의 제작은 정상 성인 신장을 바탕으로 하였으며, 아크릴의 두께는 1 cm로 하였다. 내부를 기준으로 하여 장축은 8 cm, 횡축은 4 cm, 높이는 4 cm로 제작하였으며, 전체적인 형상은 기본적인 신장모형을 기반으로 하고, 구멍(hole)을 형성하여 방사성 동위원소가 투여될 수 있도록 하였다(Fig. 1)⁶⁻⁷⁾. 실험 시 성인의 복부 두께를 고려하여 비슷한 높이의 용기를 사용하였고, 조직등가물질(tissue equivalent material)인 bolus를 팬텀의 위, 아래에 두고 물을 채워 인체와 비슷한 환경을 구축하였다(Fig. 2). 좌, 우 팬텀의 위, 아래에 동일하게 2 cm의 bolus를 놓고 실험을 진행하였으며, 왼쪽 신장팬텀의 밑에 점차 0.5 cm씩 bolus를 추가하여 신장 깊이에 차이를 주었으나 bolus를 포함한 총 높이는 좌, 우 신장팬텀이 같도록 하였다.

2) 실험방법

실제 임상에서는 ^{99m}Tc에 DMSA를 표지한 방사성의약품이 주로 사용되지만, 인체 기전을 통하지 않기 때문에 실험에서는 ^{99m}Tc-pertechnate를 이용하여 신장 팬텀에 방사성동위원소가 집적될 수 있도록 하였다. 좌, 우 신장팬텀에 각각 37 MBq의 방사능이 집적될 수 있도록 syringe에 방사성동위원소의 부피를 동일하게 하여 팬텀에 공급하였고, syringe에 남아 있는 동위원소의 양을 최소화하기 위해 같은 부피의 생리식염수를 채워 2번씩 더 투여하였다.

감마카메라는 INFANIA (GE Healthcare, Milwaukee, USA) 장비를 사용하였고, matrix size는 512×512, 에너지창의 크기 및 폭은 140 keV±10%, 확대율은 2배로 적용하여 총 1500 kcounts로 양면상 및 후면상을 획득하였다(Fig. 3). 좌, 우 신장의 깊이 차이에 따른 상대 신섭취율을 비교하기 위하여 양쪽



Fig. 3. INFANIA gamma camera

✓ **Anterior and Posterior images**

*Lt. kidney counts (Ant, Post) = Kidney counts - $\left\{ \left(\frac{\text{Bkgd counts}}{\text{Bkgd area}} \right) \times \text{Kidney area} \right\}$

*Lt. total relative uptake (%) = $\left\{ \frac{\sqrt{\text{Lt}(ant) \times \text{Lt}(post)}}{\left(\sqrt{\text{Lt}(ant) \times \text{Lt}(post)} + \sqrt{\text{Lt}(ant) \times \text{Rt}(post)} \right)} \right\} \times 100$

✓ **Posterior image**

*Lt. kidney counts (Ant, Post) = Kidney counts - $\left\{ \left(\frac{\text{Bkgd counts}}{\text{Bkgd area}} \right) \times \text{Kidney area} \right\}$

*Lt. total relative uptake (%) = $\left\{ \frac{\text{Lt}(post)}{\text{Lt}(post) + \text{Rt}(post)} \right\} \times 100$

Fig. 4. Equation of total relative renal uptake of the left kidney.

Table 1. Information of patient group

Sex	Female	15
	Male	21
Age(years)	~19	2
	20~39	20
	40~59	8
	60~	6
ADRU (%)	0 ≤ ADRU ≤ 25	19
	25 < ADRU ≤ 50	8
	50 < ADRU ≤ 75	3
	75 < ADRU ≤ 100	6

신장 팬텀에 동일하게 위, 아래로 2 cm의 bolus를 부착하여 실험하였으며, 왼쪽 신장 팬텀 후면의 bolus를 2, 2.5, 3, 3.5, 4 cm로 증가시키며 깊이에 차이를 주었다. 재현성을 평가하기 위해 신장 깊이 당 각 5번씩 총 25번의 실험을 진행하였다.

3) 영상 분석

획득된 신장팬텀의 영상은 Xeleris functional imaging workstation Ver. 2.1220 (GE Healthcare, Milwaukee, USA)을 사용하여 분석되었다. 양면상 및 후면상에서 관심영역(region of interest, ROI)을 동일하게 하기 위하여 신장과 배후방사능에 semi-automatic 방법을 이용하여 ROI를 설정하였다. 신장 깊이의 차이에 따른 감쇠정도를 고려하지 않은 계수 값을 이용한 양면상과 후면상의 경우와 후면상에 좌, 우 신장의 깊이를 각각 적용한 경우의 상대 신접취율을 산출하였다. 양면상의 경우 기하학적 평균값을 이용하였으며 후면상의 경우 산술 평균값을 이용하여 상대 신접취율을 계산하였다(Fig. 4).

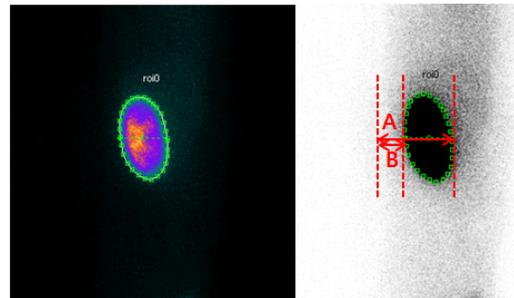


Fig. 5. The picture of drawn region of interest(ROI) on kidney and center lines from the skin to front side(A) and back side(B) of renal surface.

2. 임상 연구

1) 연구 대상 및 방법

2014년 2월부터 10월까지 본원에서 ^{99m}Tc-DMSA 신장 검사를 시행한 총 36명의 성인 환자(남성 21명, 여성 15명, 평균 나이 38세)를 대상으로 하였다(Table 1). ^{99m}Tc-DMSA 185 MBq를 환자에게 투여하고 약 3시간 후 영상을 획득하였다. 양면상은 확대율을 2배로 하여 1500 kcounts를 계수하였고, 신장의 깊이 측정을 위한 측면상은 확대율 없이 500 kcounts로 설정하여 촬영하였다. 측면상 촬영 시 피검자의 양팔과 신장의 음영이 중첩되어 나타나는 것을 방지하기 위하여 양팔을 머리 위로 거상시켰다. 기기 및 다른 설정 조건은 팬텀 연구 때와 동일하게 진행하였다.

2) 영상 분석

팬텀 연구와 마찬가지로 획득한 영상은 Xeleris functional imaging workstation Ver. 2.1220을 사용하여 분석되었고, 신장의 깊이를 측정하기 위하여 측면 영상을 이용하였다. 획득

Table 2. Difference and Absolute Difference of Relative Uptake of Kidney Phantoms

DRU (%)				
	No. of cases	Mean±SD	95% CI	CV
One Side Image	25	-3.15±2.81	-4.12~2.18	-0.89
One Side Image with Correction Formula	25	0.18±0.95	-0.15~0.51	5.26
Both Side Images	25	-5.87±4.74	-7.51~-4.23	-0.81
ADRU (%)				
	No. of cases	Mean±SD	95% CI	CV
One Side Image	25	3.34±2.57	2.45~4.23	0.77
One Side Image with Correction Formula	25	0.87±0.39	0.73~1.00	0.45
Both Side Images	25	6.31±4.10	4.90~7.73	0.65

Table 3. Difference and Absolute Difference of Relative Uptake of Both Kidney

DRU (%)				
	No. of cases	Mean±SD	95% CI	CV
One Side Image	36	-1.57±44.25	-16.90~13.76	-28.10
One Side Image with Correction Formula	36	-2.06±45.06	-17.68~13.55	-21.83
Both Side Images	36	-2.29±44.92	-17.85~13.27	-19.62
ADRU (%)				
	No. of cases	Mean±SD	95% CI	CV
One Side Image	36	31.80±30.80	21.13~42.47	0.97
One Side Image with Correction Formula	36	31.33±32.01	20.24~42.42	1.02
Both Side Images	36	31.17±32.00	20.09~42.26	1.03

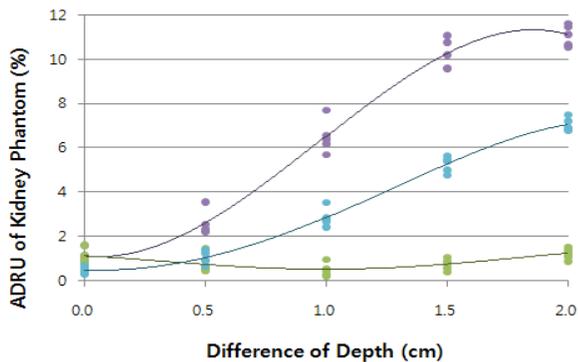


Fig. 6. Tendency of ADRU(%) according to kidney depth in the phantom study.

한 측면상에서 각각의 신장에 ROI를 수동으로 설정한 후 ROI의 중앙에 형성되는 기하학적 중심선을 따라 체표면으로부터

신장의 최전면(A)과 최후면(B)까지의 깊이를 각각 측정하여 평균값으로 신장의 깊이를 계산하였다(Fig. 5)⁶⁾. 상대 신섭취율은 팬텀 연구와 동일하게 산출되었으며 분석에는 기술 통계 및 선형회귀분석 그리고 상관분석(pearson correlation analysis)이 이용되었다.

결 과

1. 팬텀 연구

영상 분석으로 얻은 결과를 비교하기 위해 앞서 상대 신섭취율이 좌신과 우신의 비율로 산출되기 때문에 용이한 비교를 위하여 일괄적으로 좌신에서 우신의 상대 신섭취율을 빼준 값을 difference relative uptake (DRU, %)로, 여기에 절대값을 취해

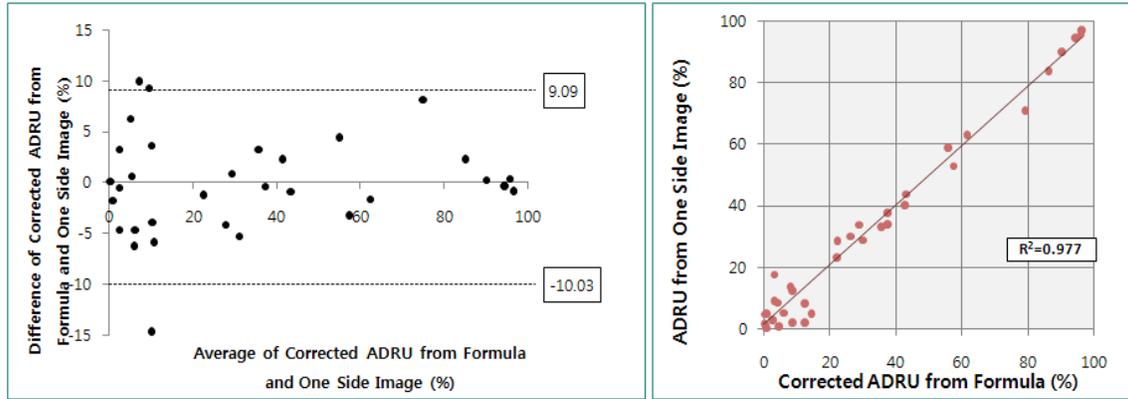


Fig. 7. Comparison of ADRU(%) between posterior image and the case of corrected kidney depth to posterior image.

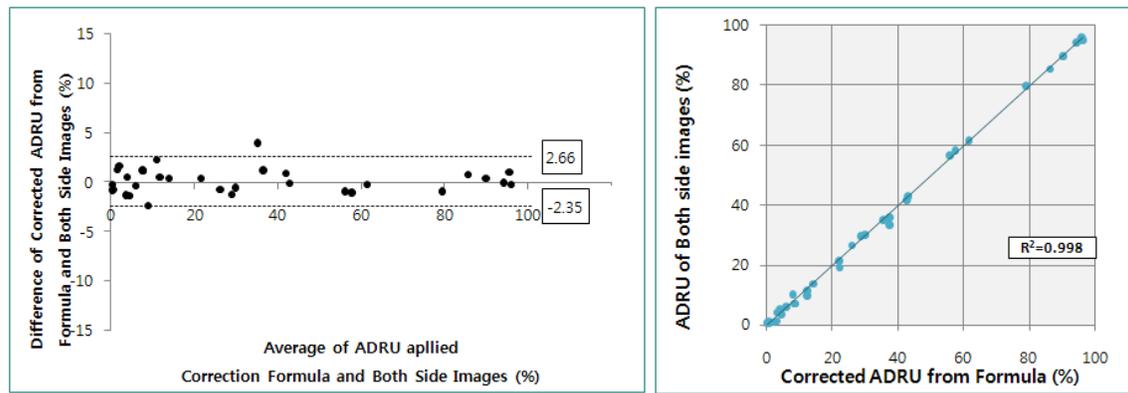


Fig. 8. Comparison of ADRU(%) between anterior and posterior images with the corrected kidney depth to posterior image.

ضمام으로써 실질적인 차이만을 나타내준 값을 absolute difference relative uptake (ADRU, %)로 정의하였다(Table 2). 상대 신접취율의 실질적 차이에 따른 변동계수(coefficient of variation, CV)를 살펴보면 후면상에 신장의 깊이를 적용해준 경우 0.45로 가장 낮은 변동양상을 볼 수 있었으며, 단순히 후면상을 이용한 경우 0.77로 변동양상이 가장 크다는 것을 확인할 수 있었다.

좌측 신장 팬텀의 후면에 부착한 bolus에 의하여 양측 신장 팬텀의 깊이에 차이가 증가함에 따라 후면상에 신장의 깊이를 적용하여 계산한 상대 신접취율과 양면상과 후면상을 이용하여 얻어진 산출 값의 차이도 증가함을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 양측 신장의 깊이 차이가 1 cm 이하인 경우에는 후면상에 깊이를 적용하여 계산한 경우와 양면상을 촬영하여 산출한 상대 신접취율이 유의한 차이를 보이지 않았으나($P>0.05$), 1 cm를 초과한 경우에는 유의한 차이를 나타냈다($P<0.05$).

2. 임상 연구

팬텀 연구에서와 마찬가지로 통계분석을 위하여 DRU와

ADRU 개념을 이용하였다. 실질적인 차이를 확인할 수 있는 ADRU(%)값을 이용한 결과 후면상의 경우, 후면상에 신장의 깊이를 적용해준 경우 그리고 양면상을 이용한 경우의 변동계수는 각각 0.97, 1.02, 1.03으로 변동양상에 큰 차이가 없음을 확인하였다(Table 3).

후면상에 신장의 깊이를 적용하여 상대 신접취율을 산출한 경우와 후면상의 산출 평균값을 이용한 경우를 그래프로 비교해보면 약 9.09%에서 -10.03%의 차이가 발생함을 확인할 수 있었지만 두 집단 간에는 상관관계가 있는 것으로 나타났다($r=0.988$)(Fig. 7). 이 때, 좌, 우 신장의 상대 신접취율이 비슷한 환자군에서 두 집단 간의 상대 신접취율 차이가 더 크다는 것을 확인하였다. 이는 한쪽 신장이 다른 신장에 비하여 기능이 급격히 떨어질 경우 상대 신접취율 산출에 있어 신장 깊이에 따른 보정이 크게 영향을 미치지 않음을 의미한다.

후면상에 신장의 깊이를 적용해준 경우와 양면상의 기하학적 평균값을 이용한 경우를 비교해본 결과 약 2.66%에서 -2.35%의 차이를 확인할 수 있었고, 두 집단의 상관관계는 후면상과 후면상에 깊이를 보정해준 경우에 비하여 더 높게 나

타났다($r=0.999$)(Fig. 8).

결론 및 고찰

$^{99m}\text{Tc-DMSA}$ 정적 신장검사에서 좌,우 신장의 상대 신접취율을 산출하는데 영향을 주는 많은 요소 중 하나가 환자의 자세 또는 신장의 상태 여부 등에 따른 신장의 깊이 차이이다. 양측 신장의 깊이에 차이가 발생할 시 조직 감쇠에 영향을 주어 오차의 원인이 될 수 있으며, 신장의 깊이 차이가 약 13 mm인 경우 상대 신접취율 계산 시 최대 5%의 오차를 발생시킬 수 있다³⁾.

정확한 신장 깊이의 측정이 가능한 팬텀 연구 결과 양측 신장의 깊이 차이가 증가함에 따라 3가지 방법으로 산출된 상대 신접취율의 차이 또한 증가하였다. 하지만 양면상을 획득함에 따라 기하학적 평균값을 통해 산출된 값이 실제 신장의 깊이를 적용하여 산출된 상대 신접취율에 더 가깝게 나타난 것을 확인하였고, 이는 양면상을 촬영하는 방법을 이용함으로써 깊이 보정이 가능한 것으로 사료된다. 환자의 신장 깊이를 측정하는 방법에는 초음파와 CT를 이용하여 신장의 깊이를 측정하는 공식인 Tonnesen, Taylor, Itoh법 등이 사용되고 있지만 본 연구에서는 측면상을 이용하여 신장의 깊이를 산출하였다^{6,9)}. 실제 신장의 깊이를 정확하게 측정할 수 있는 방법에 대한 연구가 바탕이 된다면 보다 정밀한 실험 결과를 도출할 수 있으리라 사료된다. 임상 연구에서의 결과를 토대로 후면상을 통하여 산술평균값을 이용한 상대 신접취율도 신장의 깊이를 보정하여 산출된 값과 상관관계가 있는 것으로 나타났지만 양면상을 촬영한 경우 깊이의 보정이 가능함으로써 상관관계가 더 높은 것을 확인하였다.

신장의 깊이에 차이가 없고 정상 신장을 가진 환자의 경우 촬영법에 따른 상대 신접취율에 큰 차이가 없을 것으로 여겨지나 이소성 신장, 마제형 신장, 수신증 등 질환이 있는 환자의 경우 산출되는 값의 오차가 커질 것으로 사료된다. 또한 검사 시 환자의 자세나 회전 각도에 따라 신장의 깊이 차이가 발생할 수 있으므로 이에 유의하여 촬영해야 할 것으로 보인다. 본 논문에서는 정확한 상대 신접취율을 산출하기 위하여 후면상 보다는 양면상을 촬영하는 방법을 권고하며, 특히 좌신과 우신의 상대 신접취율이 비슷한 환자군이나 신장의 깊이 측정이 어려운 환자 그리고 소아 검사 등에 있어 유용할 것으로 사료된다.

요 약

$^{99m}\text{Tc-DMSA}$ 신장 신티그라피는 피질에 주로 섭취되어 신 실질을 영상화하고 좌우 신장 및 배후방사능에 관심영역을 설정함으로써 상대 신접취율을 평가할 수 있는 검사로, 진단 및 치료 후 경과관찰에 이용되고 있다. 본 논문에서는 후면상과 양면상 촬영 시 그리고 신장의 깊이를 적용한 경우의 상대 신접취율 변화를 비교하여 상관관계를 알아보고자 한다.

실험은 신장 팬텀 및 조직등가물질을 이용하여 신장의 깊이에 차이를 주며 깊이 당 각 5번씩 총 25번을 진행하였다. 임상 연구는 2014년 2월부터 10월까지 본원에 내원하여 $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ 검사를 시행한 36명의 성인 환자를 대상으로 하였다. 장비는 감마카메라 INFINIA를 사용하였으며 GE사의 Xeleris Ver. 2.1220을 이용하여 신장 및 배후 방사능 모두 자동으로 관심영역을 설정하였다. 또한 환자별 신장 깊이의 차이를 고려하여 측면상을 촬영한 후 실제 신장 깊이를 측정하였다. 후면상에서의 산술평균값과 양면상에서의 기하학적 평균값 그리고 후면상에 신장 깊이를 적용해준 상대 신접취율을 비교해보고 유의한 차이가 있는지 살펴보았다.

팬텀 실험 결과 좌, 우 신장 깊이의 차이가 1 cm 미만인 경우에는 양면상을 촬영했을 때와 후면상에 실제 깊이를 적용해준 경우 유의한 차이를 보이지 않았으나($P>0.05$), 1 cm를 초과한 경우에는 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 임상 연구에서는 후면상만을 촬영해준 경우와 후면상에 신장 깊이를 적용해준 경우의 상관관계($r=0.988$)에 비해 양면상을 촬영해준 경우와 후면상에 신장의 깊이를 적용하여 보정해준 경우가 더 높은 상관관계($r=0.999$)를 나타냈다.

본 연구에서는 양면상과 후면상을 촬영했을 때의 상대 신접취율 차이를 확인할 수 있었다. 후면상만 촬영한 경우에도 깊이를 보정해줬을 때와 비교하여 상관관계가 있음을 알 수 있었으나 오차를 줄이기 위해서는 양면상을 촬영해주는 방법을 권고한다.

REFERENCE

1. 박성옥, 안성민, 양한준, 유광렬, 이경성, 이만구, 장상섭, 김희중. 핵 의과학 NUCLEAR MEDICINE SCIENCE. 개정 3판. 보문서원. 2008. p. 413-429.
2. DO Shim, HS Kim and EM Chung. The quantitative assessment of renal function and size by differences of acquisition counts in $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ renal scan. *Korean J Nucl Med Technol* 2010;14(2):117-121.
3. R. Wujanto, R.S. Lawson, M.C. Prescott, and H.J. Testa. The importance of using anterior and posterior views in the calculation of differential renal function using $^{99m}\text{Tc-DMSA}$. *The British Journal of Radiology* 1987;60:869-872.
4. Kenya Murase, Shuji Tanada, Masahiro Ishine, Masayoshi Yokoyama and Ken Hamamoto. Methods for measuring the renal uptake rate of $^{99m}\text{Tc-dimercaptosuccinic acid (DMSA)}$: a

- comparative study. *Eur J Nucl Med* 1990;16:725-731.
5. Blafox MD, Aurell M, Bubeck B, Fommei E, Piepsz A, Russell C, et al. Report of the radionuclides in nephrourology committee on renal clearance. *J Nucl Med* 1996;37:1883-90.
 6. HW Lee, MS Park, CG Kang, SW Cho, JY Kim and OJ Kwon et al. Study on glomerular filtration rate comparison according to renal depth measurement of kidney donors. *Korean J Nucl Med Technol* 2014;18(2):48-56.
 7. CG Kang, HH Park, SH Oh, HW Lee, JY Kim and JY Oh et al. Comparison for glomerular filtration rate in gamma camera system using dynamic renal phantom system. *Korean J Nucl Med Technol* 2013;17(2):3-9.
 8. IR Yoo, SH Kim, YA Chung, HS Jung, HG Lee and YH Park, et al. Development of formulas for the estimation of renal depth and application in the measurement of glomerular filtration rate in koreans. *Korean J Nucl Med* 2000;34(5):56-62.