

Original Article

## 신 공여자 에서 신장 깊이 측정에 따른 사구체여과율의 비교에 관한 고찰

연세의료원 세브란스병원 핵의학과<sup>1</sup>, 신구대학교 방사선과<sup>2</sup>

이한울<sup>1</sup> · 박민수<sup>1</sup> · 강천구<sup>1</sup> · 조석원<sup>1</sup> · 김주연<sup>1</sup> · 권오준<sup>1</sup> · 임한상<sup>1</sup> · 김재삼<sup>1</sup> · 박훈희<sup>2</sup>

### Study on Glomerular Filtration Rate comparison according to renal depth measurement of kidney donors

Han Wool Lee<sup>1</sup>, Min Soo Park<sup>1</sup>, Chun Goo Kang<sup>1</sup>, Seok Won Cho<sup>1</sup>, Joo Yeon Kim<sup>1</sup>, O Jun Kwon<sup>1</sup>, Han Sang Lim<sup>1</sup>, Jae Sam Kim<sup>1</sup> and Hoon-Hee Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Department of Radiological Technology, Shingu College, Seongnam, Korea

**Purpose**

<sup>99m</sup>Tc-DTPA renal scintigraphy serves as a key indicator to measure a kidney donor's Glomerular Filtration Rate (GFR) and determine the possibility of kidney transplant. The Gates method utilized to measure GFR considers 3 variables of renal depth, injection dose, and net kidney counts. In this research, we seek to compare changes in kidney donors' GFR according to renal depth measurement methods of the 3 variables.

**Materials and Methods**

We investigated 32 kidney donors who had visited the hospital from October, 2013 to March, 2014 and received abdominal CT and <sup>99m</sup>Tc-DTPA GFR examination. With the cross-section image of the CT and the lateral image from a gamma camera, we measured the renal depth and compared with renal depth calculation equations-Tonnesen, Taylor, and Itoh methods. Renal depth-specific GFR was calculated by using Xeleris Ver. 2.1220 of GE. Then the results were compared with MDRD (Modification of Diet Renal Disease) GFRs based on serum creatinine level.

**Results**

The renal depths measured based on the CT and gamma camera images showed high correlation. Tonnesen equation gave the lowest GFR value while the value calculated by using the renal depth of CT image was the highest with a 16.62% gap. MDRD GFR showed no statistically significant difference among values calculated through Taylor, Itoh, CT and gamma camera renal depth application ( $P>0.05$ ), but exhibited a statistically significant change in the value based on Tonnesen equation ( $P<0.05$ ).

**Conclusion**

This research has found that, in GFR evaluation in kidney donors by utilizing <sup>99m</sup>Tc-DTPA, Tonnesen equation-based Gates method underestimated the value than the MDRD GFR. Therefore, if a MDRD GFR value shows a huge difference from the actual examination value, using an image-based renal depth measurement, instead of Tonnesen equation applied to Gates method, is expected to give an accurate GFR value to kidney donors.

**Key Words**

Renal Depth, GFR, Gates Method, MDRD

## 서 론

• Received: September 26, 2014. Accepted: October 25, 2014.  
• Corresponding Author: **Han Wool Lee**  
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System  
50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749, Korea  
Tel: +82-2-2228-4863, Fax: +82-2-2227-7062  
E-mail: LHW3515@yuhs.ac

신장의 기능은 대사노폐물을 배설하고 수분 및 전해질이 체 내에 일정한 상태가 유지되도록 한다. 신장에는 100만개 이상의 네프론이 있고, 네프론 내의 사구체에서 하루 180 L정도가 여과 된다. 사구체의 내벽에는 수많은 작은 구멍이 있으며, 그

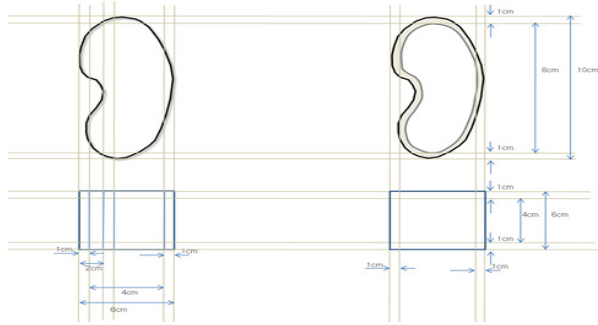


Fig. 1. Left and right two kidney phantoms of the form of a plane were made based on a normal adult kidney.

투과성은 모세혈관보다 높다. 직경이 약 10 nm 정도의 다공성 막으로 혈액이 이곳을 통과 하며, 압력의 차이로 여과가 이루어진다. 즉, 사구체란 신장에서 혈액을 여과하는 기본 단위 조직으로 단위 시간 당 여과되는 여과액을 사구체 여과율 (Glomerular Filtration Rate, GFR)이라 하며, 이 사구체 여과율은 신기능의 평가 및 만성 신 질환(Chronic Kidney Disease, CKD)의 경과 관찰에 중요한 지표이다.<sup>1)</sup> 또한 신장 공여자에게서 신장 이식 가능 여부를 결정하는 중요한 생리적 지표 중 하나로서 임상적으로 많이 이용되고 있다. 하지만, 사구체 여과율을 직접적으로 측정하기는 어렵기 때문에 여러 가지의 방법이 연구되어 사용되고 있다. 크게 나누어 혈액이나 소변을 채취하여 제거율을 측정하는 방법과 감마 카메라를 이용하여 신장 섭취율을 측정하는 방법이 있다. 혈액이나 소변 채취에 의해 사구체 여과율을 측정하는 방법은 다른 방법들에 비해 정확도가 높으나 침습적이면서 측정에 오랜 시간이 걸리고, 환자가 여러 번 측정에 참여해야 하는 번거로움이 있다. 그러나, 감마카메라를 이용하는 방법은 혈액이나 소변을 채취하여 사구체 여과율을 측정하는 방법에 비해 정확도는 떨어지나 비침습적이면서 측정 방법이 간편하고 재현도가 우수하며, 양쪽 신장의 사구체 여과율을 각각 측정할 수 있고 신장 곡선을 함께 얻을 수 있다는 장점이 있어서 많이 이용되고 있다.<sup>2)</sup>

감마카메라를 이용한 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 동적신장검사는 주사 후 첫 2, 3분 동안 신장에 축적된 방사능을 측정하는 Gates 방법이 이용되는데, Gates 방법은 신장 깊이, 주사량, 순 신장 계수의 3가지 변수들을 고려해야 한다.<sup>3-5)</sup> 특히 신장 깊이의 차이는 신장 방사능을 계측할 때 정확도에 영향을 주며 사구체 여과율 같이 각각의 신장 기능을 분리하여 측정하는데 있어서 중요한 변수로 작용한다. 이러한 이유로 현재까지 신장 깊이를 측정하는 여러 가지 방정식이 도출되었는데 가장 일반적인 방법으로 Tonnesen, Taylor, Itoh 등에 의한 방정식이 있다.<sup>6-8)</sup>



Fig. 2. It has devised in completion of acrylic phantom and outlet and inlet.

현재 가장 널리 사용되는 Tonnesen 방정식은 초음파로 측정 한 신장 깊이를 이용한 것이며 이는 좌위에서 측정 한 신장 깊이를 이용했기 때문에 양와위에서 영상을 획득하는 동적신장 검사와는 차이가 있어 정확한 감쇠보정을 기대하기는 어렵다.<sup>7)</sup> Taylor, Itoh 등은 이에 착안하여 동적신장검사와 같이 양와위에서 획득한 전산화 단층촬영(Computed Tomography, CT)을 이용해서 신장 깊이를 측정하여 사구체 여과율 측정에 이용하였기 때문에 보다 정확도가 우수한 것으로 알려져 있다.<sup>7-8)</sup> 하지만, 이는 체중, 키, 나이에 따른 변수로 인하여 신장 깊이를 구하게 되므로 개인차를 극복하기는 힘들다.

본 연구에서는 팬텀 연구를 통해 신장 깊이 변화에 따른 사구체 여과율의 경향성을 알아보고 신장 공여자를 대상으로 하여 채혈을 통해 획득한 MDRD (Modification of Diet in Renal Disease) 공식에 의한 사구체 여과율과 Gates 방법에 Tonnesen, Taylor, Itoh 등의 방정식에서 계산된 신장 깊이를 적용한 사구체 여과율을 저자가 감마카메라의 측면상과 복부 CT 영상을 통해 계측한 신장 깊이를 적용한 사구체 여과율과 비교하여 그 경향성을 분석하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 팬텀(Phantom) 연구

#### 1) 신장팬텀 제작

신장팬텀(Kidney phantom)의 제작은 정상 성인 신장을 기준으로 제작하였으며, 평면영상의 획득을 목적으로 신장에서 방사성 동위원소가 일정시간 집적되었다가 배설될 수 있는 구조로 제작하였다. 아크릴(Acrylic)의 두께는 1 cm, 장축은 10 cm으로 두께를 제외하고 내부는 8 cm으로, 횡축은 6 cm으로

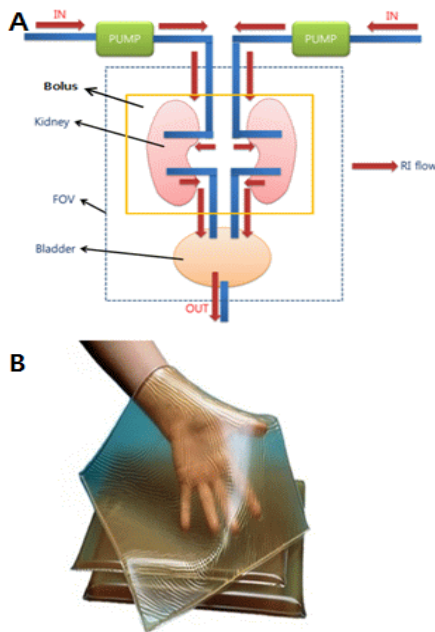


Fig. 3. A: Modeling of the dynamic kidney phantom system: The arrows represent the flow of radioactive isotopes, B: Bolus.

두께를 제외하고 4 cm으로 제작하였다. 높이는 6 cm으로 두께를 제외하고 4 cm으로 하였으며, 전체적인 형상은 기본적인 신장모형을 기반으로 하였다(Fig. 1). 또한 동적 영상의 재현을 위하여 두 개의 홀(hole)을 형성하여 방사성동위원소의 투입구와 배출구로 구분하였으며, 투입된 방사성동위원소가 투입되는 압력을 통해 배출구로 이동하여 방광으로 자연스럽게 배출될 수 있도록 제작하였다(Fig. 2).<sup>9)</sup>

### 2) 동적 신장팬텀 시스템의 모델링

제작된 신장팬텀을 기본으로 동적 상황을 재현하기 위하여 혈류의 속도를 조절할 수 있는 정량펌프를 적용하였다. 정량 펌프는 디지털 Simdos모델(KNF, Product Center Liquid Pumps, Switzerland)을 사용하였으며, 유속(flow rate)을 1~100 mL/min까지 조절이 가능하여 혈류 상황을 유사하게 적용할 수 있도록 고안하였다.

방사성동위원소가 최초 펌프를 통해 유입되고 신장팬텀의 투입구를 통해 유입된 후 신장 전체에 집적되고, 이후 펌프의 압력에 의해 배출구를 통해 방광으로 이동할 수 있도록 방향을 설정하였다. 신장을 거쳐 방광으로 배설되는 과정을 전체적으로 묘사할 수 있도록 하였으며, 신장에서의 집적 외에도 신장검사서 중요하게 다루어지는 방광량의 측정이 가능하도록 설계하였다. 또한 감마카메라의 시야(Field of View)에 신장과 방광을 모두 포함하여 실제 임상 조건과 유사하게

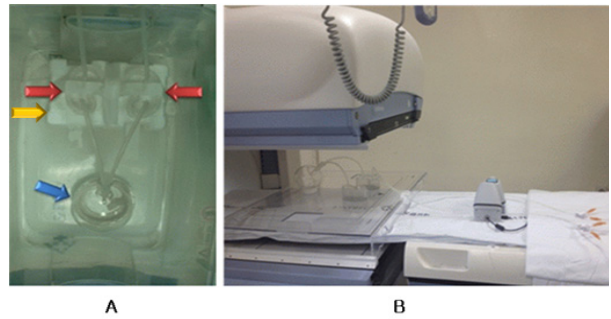


Fig. 4. The modeling of the dynamic kidney phantom system. (A : red arrow(kidney), yellow arrow (bolus), blue arrow (bladder), B: Dynamic kidney phantom system).

고안하였다. 추가적으로 실제 환자에서의 신장 깊이를 재현하기 위해 신장 팬텀의 후면에 조직등가물질(Bolus)을 부착하여 3.5 cm부터 5.5 cm까지 0.5 cm단위로 변화시켜 신장 깊이 에 따른 사구체 여과율의 변화 양상을 알아보고자 하였다(Fig. 3).<sup>9)</sup>

### 3) 영상획득

실제 임상에서는 <sup>99m</sup>Tc-DTPA의 방사성의약품이 주로 사용되지만, 인체 기전을 통하지 않기 때문에 동적 신장팬텀 시스템에서는 <sup>99m</sup>Tc-pertechnate를 이용하여 신장에 방사성동위원소가 지속적으로 집적할 수 있도록 하였고, 사용된 방사성동위원소는 두 개의 펌프를 통해 공급되었다.

감마카메라는 Infinia (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA) 장비를 사용하였고, 조준기는 저에너지 고분해능용, 화소수는 128 \* 128, 에너지창의 크기 및 폭은 140 keV±10%를 적용하였다.

영상 획득은 두 부분(Phase)으로 구분하였으며, Phase I은 60 frame을 1초 간격으로 1분간, Phase II는 30 frame을 10초 간격으로 5분 동안 총 6분의 영상을 획득하였다.<sup>9)</sup>

### 4) 실험방법

주입속도를 동일하게 하여 각각의 펌프를 통해 동적신장팬텀시스템을 가동하였다. 각 펌프에서는 40 stroke의 동일한 조건으로 주입하였고, 다른 조건을 동일하게 유지하였다. 조직 등가물질(bolus)의 두께에 따른 사구체 여과율의 변화를 비교하기 위하여 2 cm의 아크릴 신장 팬텀 후면에 bolus 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 cm을 부착하여 각각 10회씩 동적팬텀시스템으로 동일하게 실험을 진행 하였다(Fig. 4).

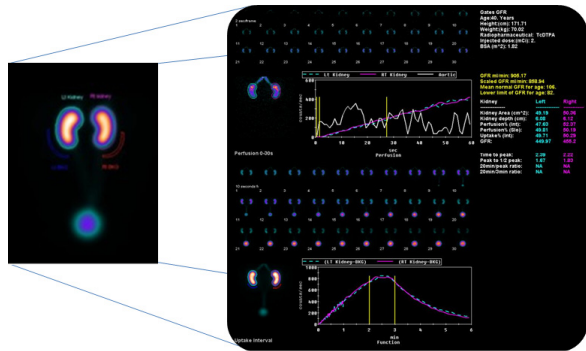


Fig. 5. Acquired images were analyzed in Xeleris Functional Imaging Workstation.

$$\text{Uptake} = \frac{C_R - \text{BKG}_R}{e^{-\mu X_R}} + \frac{C_L - \text{BKG}_L}{e^{-\mu X_L}}$$

$$\text{GFR} = 9.8127 \times (\text{Lt uptake\%} + \text{Rt uptake\%}) - 6.82519$$

Fig. 6. Quantitative analysis of the Gates GFR values were calculated by the method.

### 5) 영상 분석

획득된 동적신장팬텀시스템 검사의 영상 분석은 Xeleris Functional Imaging Workstation Ver.2.1220 (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA)을 사용하여 각각의 신장과 방광에 관심영역(Region of interest, ROI)을 그려 임상의 동적 신장검사와 동일한 방법으로 각 5회씩 분석하였고 Gates 법에 의해 사구체 여과율을 산출하였다(Fig. 5)(Fig. 6). 분석에 사용된 환자정보는 2013년 1년 동안 본원을 내원하여 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 동적신장검사를 시행한 신장 공여자의 남, 녀 평균 신장과 몸무게를 대입하였고 Tonnesen 방정식으로 계산된 신장 깊이를 고정으로 입력하여 bolus의 두께 변화에 따른 사구체여과율의 경향성을 확인하였다.

## 2. 임상 연구

### 1) 연구 대상 및 방법

2013년 10월부터 2014년 3월까지 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 동적신장검사를 위해 본원에 내원한 환자 중 핵의학 검사 전 복부 CT 검사를 시행한 신장 공여자 총 32명(남자 13명, 여자 19명, 평균 나이 43.98세)을 대상으로 하였다. <sup>99m</sup>Tc-DTPA를 이용하여 신기능 곡선과 함께 사구체 여과율을 측정하였다. 영상 수집으로는 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 185 MBq(5 mCi)를 순간 주사하고 팬텀 연구와 동일한 방법으로 획득하였다(Fig. 7).



Fig. 7. INFANIA gamma camera (General Electric Healthcare, Wisconsin, MI, USA).



Fig. 8. Patient position is supine and raise both arms above the head.

또한 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 주사기는 주사 직전에 조준기로부터 30 cm거리에서 1분간 계측하고 모든 영상이 획득된 후에 다시 주사기를 같은 방법으로 1분간 계측하여 실제 투여된 방사능의 양을 측정하였다. 동적신장검사를 시행 후 이어서 512×512 matrix를 적용하여 300 kcounts의 양측면상을 획득하였다. 획득 영상에서 피검자의 양팔과 신장의 음영이 중첩되어 나타나는 것을 방지하기 위해서 자세는 양팔을 머리 위로 거상하여 촬영하였다(Fig. 8). 모든 환자는 동일한 날에 채혈을 통하여 MDRD를 이용한 사구체 여과율 측정도 같이 진행하였다.

### 2) 분석

혈청의 크레아티닌 농도는 생화학 분석기 중 Hitachi 7600-210 (Hitachi, Tokyo, Japan) 기기를 이용하여 Jaffe 법으로 측정하였고 측정된 크레아티닌 수치를 다음과 같은 MDRD공식에 대입하여 사구체여과율을 산출하였다(Fig. 9).

복부 CT 중 신문(renal hilum)이 포함된 영상에서 체표면으로부터 신장의 최전면(A)과 최후면(B)까지의 깊이를 각각 측정하여 평균 깊이((A+B)/2, cm)를 구하였다(Fig. 10).<sup>10)</sup>

**MDRD GFR**  
 = 186 X Serum Creatinine<sup>-1.154</sup> X Age<sup>-0.203</sup> X [0.742 if Female]



Fig. 9. Hitachi 7600-210 (Hitachi, Tokyo, Japan).

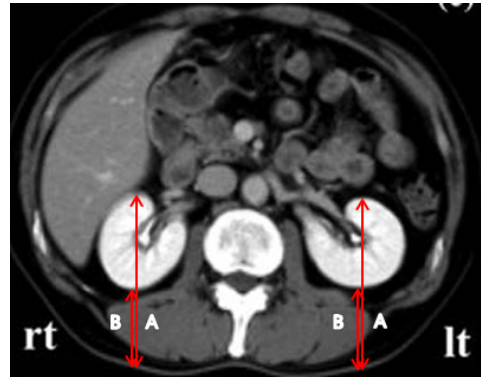


Fig. 10. CT scan depicts lines from the skin to anterior (A) and posterior (B) renal surfaces at the level of the renal hilum.

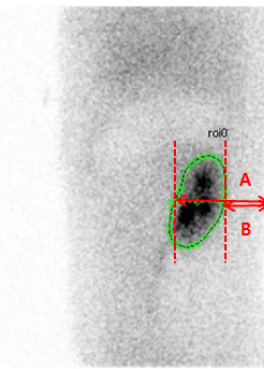
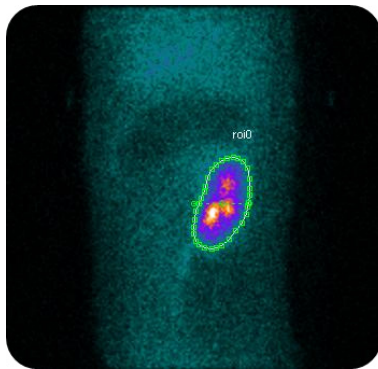


Fig. 11. A region of interest (ROI) was drawn kidney and depicts lines from the skin to anterior (A) and posterior (B) renal surfaces.

감마카메라를 통해 획득한 측면영상의 분석은 Xeleris Functional Imaging Workstation Ver. 2.1220 (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA)을 사용하여 각각의 신장에 관심영역(Region of interest, ROI)을 설정한 후 관심영역의 중앙에 형성되는 기하학적 중심선을 따라 체표면으로부터 신장의 최전면(A)과 최후면(B)까지의 깊이를 각각 측정하여 평균 깊이((A+B)/2, cm)를 구하였다(Fig. 11).

마지막으로 피검자의 체중, 키, 나이 등의 관련변수를 다음의 방정식에 대입하여 신장 깊이를 산출하였다.

**Tonnesen 방정식**

Right kidney depth (cm)=13.3(weight/height)+0.7  
 Left kidney depth (cm)=13.2(weight/height)+0.7

**Taylor 방정식**

Right kidney depth (cm)=15.13 (weight/height) + 0.022Age + 0.077  
 Left kidney depth (cm)=16.17 (weight/height)+0.027Age-0.94

**Itoh 방정식**

Right kidney depth(cm)=13.6361 × (weight/height)<sup>0.6996</sup>  
 Left kidney depth(cm)=14.0285 × (weight/height)<sup>0.7554</sup>

각각의 방법들을 통해 획득한 신장 깊이를 Gates 방법에 적용하여 사구체 여과율을 산출하였고 SPSS Ver. 17을 사용하여 비교 분석 하였다.

**결 과**

**1. 팬텀(phantom) 연구**

장비에 따른 동적 신장검사를 비교 분석하여 변화를 확인한 결과 우측신장(right kidney)과 좌측신장(left kidney)은 신장에 집적 후 방사성동위원소가 배출되는 형상을 나타냈고, 반면에 방광에서는 배출된 방사성동위원소가 집적되는 형상을 보였다. 이는 임상에서의 보편적인 동적 신장검사 영상과 동일한 형상을 나타냈다.

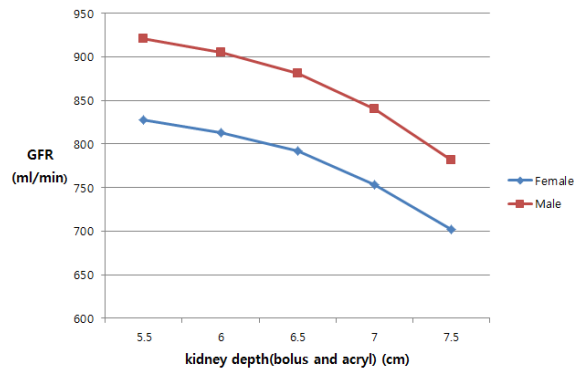
산출된 사구체 여과율(mL/min)은 남성의 평균 키, 몸무게

**Table 1.** The renal depths (mean±S.D, cm) measured from lateral, CT and estimated from Tonnesen, Taylor and Itoh equation

		*Mean±SD	95% CI	p-value <sup>†</sup>
CT	Rt. kidney	6.97±0.89	6.66-7.28	
	Lt. kidney	6.70±0.84	6.40-6.99	
Tonnesen	Rt. kidney	5.74±0.55	5.55-5.93	0.000
	Lt. kidney	5.70±0.54	5.51-5.89	0.000
Taylor	Rt. kidney	6.78±0.64	6.56-7.00	0.246
	Lt. kidney	6.37±0.70	6.13-6.62	0.002
Itoh	Rt. kidney	6.91±0.52	6.73-7.09	0.837
	Lt. kidney	6.73±0.55	6.54-6.92	0.501
Lateral	Rt. kidney	6.95±0.86	6.65-7.25	0.667
	Lt. kidney	6.71±0.82	6.43-7.00	0.822

\*: Calculated kidney depth (cm)

†: Analyzed by Wilcoxon's signed-ranks test

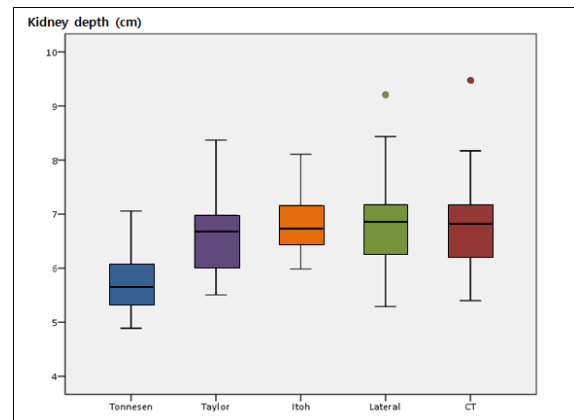


**Fig. 12.** Tendency of GFR according to kidney phantom depth.

를 대입했을 때 5.5 cm 921.09 mL/min, 6 cm 905.17 mL/min, 6.5 cm 881.47 mL/min, 7 cm 839.97 mL/min, 7.5 cm 781.71 mL/min으로 나타났으며 여성의 평균 키, 몸무게를 대입했을 때 5.5 cm 827.52 mL/min, 6 cm 813.18 mL/min, 6.5 cm 791.88 mL/min, 7 cm 753.58 mL/min, 7.5 cm 702.18 mL/min이었다. 조직등가물질(bolus)에 의한 감쇠가 발생하여 bolus의 두께를 증가시킬수록 산출된 사구체 여과율이 지수함수 적으로 감소 되어짐을 보였다(Fig. 12).

## 2) 임상 연구

복부 CT에서 측정된 신장 깊이의 평균은 우신 6.97 cm, 좌신 6.70 cm였다. Tonnesen 방정식을 이용한 산출치는 우신 5.74 cm, 좌신 5.70 cm로 CT 측정치와 비교해서 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). Taylor 방정식에 의한 산출치는 우신 6.78 cm, 좌신 6.37 cm로 CT 측정치에 좀 더 가까운 수치를 보였지만 좌신의 경우에서 CT 측정치와 통계



**Fig. 13.** Comparison of kidney depth according to measured methods.

적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). Itoh 방정식에 의한 산출치는 우신 6.91 cm, 좌신 6.73 cm였고, 감마카메라의 측면 영상에서 측정된 신장 깊이는 우신이 6.95 cm, 좌신이 6.71 cm로 CT 측정치와 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ )(Table 1).

Tonnesen 방정식에서의 산출치가 가장 낮은 측정치를 보였으며, 저자가 실제 측정한 감마카메라의 측면영상과 CT에서의 측정치는 유사한 분포를 보였다. 연구에 사용된 신장 깊이 방정식 중 Itoh 방정식에서의 산출치가 실제 측정치와 가장 유사한 것으로 나타났지만 이상치를 보이는 한명의 환자에게서는 그 값을 반영하지 못하는 것으로 나타났다(Fig. 13).

각각의 방법으로 산출한 신장 깊이를 적용하여 사구체 여과율을 측정하여 비교해 보았을 때 Tonnesen 방정식을 이용한 경우가 그 값이 가장 낮았고 CT 측정치를 이용한 산출치와 비

**Table 2.** Comparison of GFR mean value in 32 donors based on MDRD

	Mean±SD	95% CI	p-value*
MDRD	114.25±19.32	107.56-120.95	
Tonnesen	99.42±15.69	93.98-104.86	0
Taylor	114.63±16.85	108.79-120.46	0.911
Itoh	119.14±18.44	112.76-125.53	0.254
Lateral	119.21±17.30	113.21-125.20	0.061
CT	119.24±16.93	113.38-125.11	0.076

\*: Analyzed by Wilcoxon's signed-ranks test

**Table 3.** Comparison of GFR, regression lines, correlation coefficient and mean value

	Mean±SD	95% CI	Regression equation	*r	p <sup>†</sup>
CT	119.24±16.93	113.38-125.11			
Tonnesen	99.42±15.69	93.98-104.86	y=0.7579x+10.234	0.771 <sup>†</sup>	0.000
Taylor	114.63±16.85	108.79-120.46	y=0.7417x+26.179	0.692 <sup>†</sup>	0.032
Itoh	119.14±18.44	112.76-125.53	y=0.8753x+14.768	0.761 <sup>†</sup>	0.948
Lateral	119.21±17.30	113.21-125.20	y=1.0101x-1.2419	0.978 <sup>†</sup>	0.948
MDRD	114.25±19.32	107.56-120.95	y=0.6499x+36.760	0.522 <sup>†</sup>	0.076

\*: Spearman'srankcorrelationcoefficient

† : p < 0.01 (regarding correlation coefficient)

‡ : Analyzed by Wilcoxon's signed-ranks test

교해서 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). Taylor 방정식을 적용한 산출치는 채혈을 통해 측정된 MDRD 사구체 여과율과는 가장 가까운 값을 보였지만 두 가지 방법 모두에서 CT 측정값을 적용한 사구체 여과율 보다는 그 값이 낮게 나타났다(Table 2). Itoh 방정식을 적용한 경우와 측면영상에서의 측정치를 적용한 경우에서 CT 측정치 적용 사구체 여과율과 근사한 평균치를 보였다(Table 3). 이 중 측면영상을 통해 계측한 신장 깊이를 적용한 사구체 여과율은  $p = 0.948$ ,  $r = 0.978$ 로 CT 측정치를 이용한 산출치와 매우 유사한 것으로 나타났다(Fig. 14).

### 결론 및 고찰

<sup>99m</sup>Tc-DTPA 동적 신장검사서 신장 깊이의 차이는 신장 방사능을 계측하는데 정확도에 영향을 주며 특히 각각의 신장의 기능을 분리하여 측정하는데 있어서 중요하고 테크네슘의 경우 유효감쇠계수는 0.12/cm, 선상감쇠계수는 0.153/cm로 알려져 있어 신장 깊이에 의한 감쇠를 교정해 주어야 한다.<sup>10)</sup> 이러한 이유로 정확한 신장 깊이의 측정을 위해 초음파와 CT를 이용해 신장 깊이를 계측하는 방법들이 연구되어 사용되고

있는데 대표적으로는 Tonnesen, Taylor, Itoh 방정식 등이 상용화 되어져있다. 이러한 3가지 방정식을 통해 산출된 신장 깊이와 저자가 실측한 신장 깊이를 비교해본 결과 Tonnesen 방정식에서의 신장 깊이가 가장 과소측정 되는 것으로 나타났다. Tonnesen 방정식은 동적 신장검사서와 달리 좌위에서 측정된 신장 깊이를 적용했는데 이는 자세에 따른 신장의 움직임에 의한 오차가 발생 할 수 있고 또한 초음파 탐침을 경사 각도로 하고 신장 깊이를 측정할 것도 오차의 원인이 될 수 있다. 양와위에서 CT 영상을 통해 측정된 신장 깊이를 적용한 Taylor 방정식은 Itoh 방정식과 비교해서 실제 측정된 깊이에 더 큰 차이를 보였다. 이는 서양인을 대상으로 한 Taylor 방정식에서 보다 동양인을 대상으로 한 Itoh 방정식이 한국인의 신장 깊이를 산출하는데 적합하기 때문인 것으로 사료된다.

결과적으로 한국인의 신장공여자에 있어서 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 동적신장검사시 Tonnesen 방정식을 대체하여 Itoh 방정식을 사용하는 것이 검사의 정확성을 높일 수 있을 것으로 여겨진다. 하지만 방정식을 통해 적용 되어지는 신장 깊이 값은 축적된 데이터에 의한 추정치이기 때문에 개개인의 신장 깊이를 정확하게 반영하는 것은 한계가 있으므로 CT 영상이나 감마 카메라를 이용해 추가적으로 획득한 측면 영상에서의 실제 측

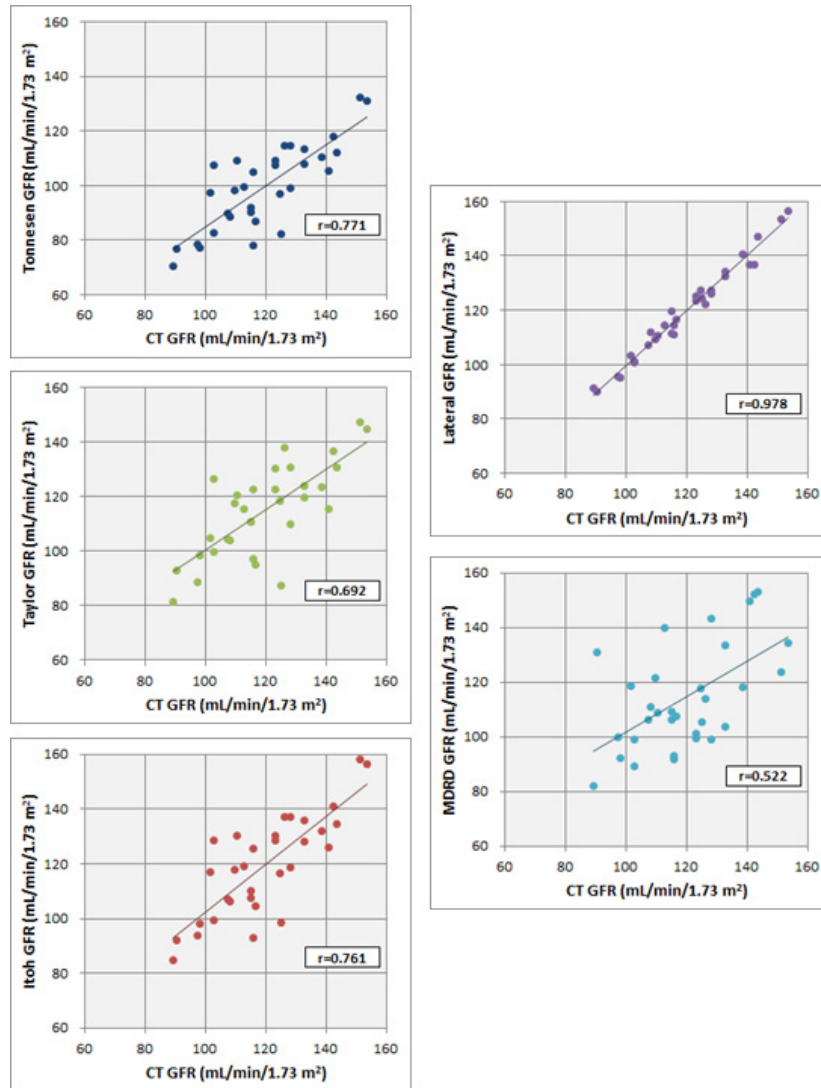


Fig. 14. The graphs demonstrate relationship between the glomerular filtration rate measured by CT and each measured methods.

정치를 적용한다면 보다 정확한 사구체 여과율의 산출이 가능할 것이다. 또한 이러한 실제 측정된 데이터의 활용은 신장을 수여받은 신장 이식환자, 이소성 신장, 마제형 신장과 같이 신장 깊이 산출 방정식의 적용이 어려운 환자의 경우에서도 유용할 것으로 사료된다.

신장 측정 방정식의 적용에 따라 사구체 여과율의 편차가 발생하므로 추적 관찰이 필요한 환자의 경우에는 각 병원에 맞는 한 가지 프로토콜을 확립하여 적용하는 것이 필요할 것으로 여겨진다.

## 요 약

<sup>99m</sup>Tc-DTPA 신장 신티그래피는 신공여자에게서 사구체

여과율을 평가하고, 신장 이식 가능여부를 결정하는데 있어 중요한 지표가 된다. 사구체 여과율을 측정하는데 이용되는 Gates법은 신장 깊이, 주사량, 순 신장 계수의 3가지 변수들을 고려해야 한다. 본 연구에서는 3가지 변수 중 신장 깊이 측정 방법에 따른 신공여자의 사구체 여과율 변화를 비교 평가하고자 한다.

2013년 10월부터 2014년 3월까지 본원에 내원하여 복부 CT와 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 사구체 여과율 검사를 시행한 32명의 신공여자를 대상으로 하였다. CT에서의 횡단면 영상과 감마카메라에서 획득한 측면 영상으로 신장 깊이를 측정하고, 신장 깊이 산출 공식인 Tonnesen, Taylor, Itoh법과 비교하였다. GE사의 Xeleris Ver. 2.1220을 이용하여 신장 깊이에 따른 사구체 여과율을 산출한 후, 혈청 크레아티닌 수치를 이용한 MDRD



(Modification of Diet Renal Disease) 사구체 여과율과 비교 분석하였다.

CT와 감마카메라 영상에서 측정된 신장 깊이는 높은 상관 관계를 보였다. 사구체 여과율은 Tonessen 공식을 적용하여 산출한 값이 최소치로 나타났고, CT 영상에서의 신장 깊이를 대입하여 산출한 값이 최대치로 나타났으며, 이를 적용한 사구체 여과율은 16.62%의 차이를 보였다. MDRD 사구체 여과율은 Taylor, Itoh, CT 및 감마카메라에서의 신장 깊이를 적용한 값에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 ( $p > 0.05$ ), Tonnesen 공식을 적용하여 산출한 값에서는 유의하게 나타났다( $p < 0.05$ ). CT 측정값을 대입하여 산출한 사구체 여과율 또한 MDRD, Taylor, Itoh, 감마카메라에서의 측정 깊이를 적용한 산출값과는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 ( $p > 0.05$ ), Tonnesen 공식을 적용하여 산출한 값에서는 유의하게 나타났다( $p < 0.05$ ).

본 연구에서는 신공여자에게서  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA를 이용한 사구체 여과율 평가 시 Tonnesen 공식을 적용한 Gates법이 MDRD 사구체 여과율에 비하여 과소평가됨을 알 수 있었다. 따라서, MDRD 사구체 여과율과 검사 결과 산출된 값이 큰 차이를 보이는 경우 기존 Gates법에 적용되는 Tonnesen 방정식을 대신하여 Itoh 방정식을 적용하거나 영상을 기반으로 측정된 신장 깊이를 적용하면 보다 정확한 사구체 여과율 평가가 가능할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. 고창순, 핵의학. 제 3판. 고려의학 2008. P629-631.
2. 정현석, 정용안, 김성훈, 김정호, 이성용, 손형선, 백준현, 정수교. 다양한 배후 방사능 설정에 따른 Gates 법 사구체 여과율의 차이: I-125-Iothalamate 측정법과의 비교. Korean.

3. Gates GF. Glomerular filtration rate with Tc-99m DTPA: an in-house computer program. *J Nucl med* 1984;25:613-8.
4. Gates GF. Glomerular filtration rate. Estimation from fractional renal accumulation of Tc-99m DTPA (stannous). *AJR* 1982;138:565-70.
5. Awdeh M, Kouris K, Hassan IM, Abdel-Dayem HM. Factors affecting the Gates' measurement of glomerular filtration rate. *Am J of Physiol Imaging* 1990;5:36-41.
6. Tonnesen KH, Munck O, Hald T, Mogensen P, Wolf H. Influence on the radiorenogram of variation in skin to kidney distance and the clinical importance hereof. In: Zum Winkel K, Blaufox MD, Funck-Bretano JL, eds. Proceedings of the international symposium on radionuclides in nephrology. Stuttgart; Thieme; April 1974:79-86. cite from reference 9).
7. Taylor A, Lewis C, Giacometti A, Hall EC, Barefield KP. Improved formulas for the estimation of renal depth in adults. *J Nucl Med* 1993;34:1766-9.
8. Itoh, Kazuo, Arakawa, Masanori (Hokkaido Univ., Sapporo (Japan). School of medicine). Re-estimation of renal function with  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA by the Gates' method. p. 389-396; ISSN 0022-7854; CODEN KAIGB; Apr 1987.
9. Chun Goo Kang, Hoon-Hee Park, Shin Hyun Oh, Han Wool Lee, Jung Yul Kim, Joo Yung Oh et al. Comparison for Glomerular Filtration Rate in Gamma Camera System Using Dynamic Renal Phantom System. *J Nucl Med Technol* 2013.
10. Blaufox 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.