사구체 여과율 측정을 위한 한국인의 신장 깊이에 관한 방정식 도출과 이용

가톨릭대학교 의과대학 방사선과학교실, 의공학교실[1]

유이령 · 김성훈 · 정용안 · 정현석 · 이해규 · 박영하 · 이성용 · 손형선 · 정수교 · 김현미[1] · 이형구[1]

Development of Formulas for the Estimation of Renal Depth and Application in the Measurement of Glomerular Filtration Rate in Koreans

Ie Ryung Yoo, M.D., **Sung Hoon Kim**, M.D., **Yong An Chung**, M.D., **Hyun Seok Jung**, M.D., **Hae Giu Lee**, M.D., **Young Ha Park**, M.D., **Sung Yong Lee**, M.D., **Hyung Seon Sohn**, M.D., **Soo Kyo Chung**, M.D., **Hyun Mi Kim[1] and Hyung Goo Lee**, Ph.D.[1]

Department of Radiology, Department of Biomedical Engineering,[1] The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Abstract

Purpose: There is no established formula for estimating renal depths in Korean. As a result, we undertook this study to develop a new formula, and to apply this formula in the calculation of glomerular filtration rate (GFR). **Materials and Methods:** We measured the renal depth (RD) on the abdominal CT obtained in 300 adults (M:F=167:133, mean age 50.9 years) without known renal diseases. The RDs measured by CT were compared with the estimated RDs based on the Tonnesen and Taylor equations. New formulas were derived from the measured RDs in 200 out of 300 patients based on several variables such as sex, age, weight, and height by multiple regression analysis. The RDs estimated from the new formulas were compared with the measured RDs in the remaining 100 patients as a control. In 48 patients who underwent Tc-99m DTPA renal scintigraphy, GFR was measured with three equations (new formula, Tonnesen and Taylor equations), respectively, and compared with each other. **Results:** The mean values of the RDs measured from CT were 6.9 cm for right kidney of the men (MRK), 6.7 cm for left kidney of the men (MLK), 6.7 cm for right kidney of the women (WRK), and 6.6 cm for left kidney of the women (WLK). The RDs estimated from Tonnesen equation were shorter than the ones measured from CT significantly. The newly derived formulas were 12.813 (weight/height)+0.002 (age)+ 2.264 for MRK, 15.344 (weight/height)+0.011 (age)+0.557 for MLK, 12.936 (weight/height)+ 0.014 (age)+1.462 for WRK and 13.488 (weight/height)+0.019 (age)+0.762 for WLK. The correlation coefficients of the RD measured from CT and estimated from the new formula were 0.529 in MRK, 0.729 in MLK, 0.601 in WRK, and 0.724 in WLK, respectively. The GFRs from the new formula were significantly higher than those from the Tonnesen equation significantly, which was the most similar to normal GFR values. **Conclusion:** We generated new formulas for estimating RD in Korean from the data by CT. By adopting these formulas, we expect that GFR can be measured by the Gates method accurately in Korean. **(Korean J Nucl Med 2000;34:418-25)**

Key Words: Tc-99m DTPA, Renal scintigraphy, Glomerular filtration rate, Renal depth

Received May. 22, 2000; revision accepted Oct. 4, 2000

Corresponding Author: Sung Hoon Kim, M.D., Department of Nuclear Medicine, Kangnam St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea, #505 Banpo-dong, Seocho-ku, Seoul, 137-040, Korea

Tel: 82-2-590-1752, Fax: 82-2-593-2992, E-mail: sghnk@cmc.cuk.ac.kr

※ 이 논문은 2000년 가톨릭중앙의료원 연구보조비의 지원을 받았음.

서 론

사구체 여과율은 신장의 기능을 평가하는 중요한 생리적 지표의 하나로서 임상적으로 많이 이용되고 있다. 방사성 동위원소를 이용하여 사구체 여과율을 측정하는 여러 가지 방법이 개발되어 임상적으로 사용되고 있는데 크게 나누어 혈액이나 소변을 채취하여 제거율을 측정하는 방법과 감마카메라로 신장 섭취율을 측정하는 방법이 있다.[1-10] 감마카메라를 이용하는 방법은 간편하고 신장 신티그람을 함께 얻을 수 있어 많이 이용하고 있는데 주로 Tc-99m DTPA를 주사한 첫 2, 3분 동안 신장 내에 축적된 방사능를 측정하는 Gates 방법이 많이 이용되고 있다.[6-10] Gates 방법을 이용할 때는 정확한 사구체 여과율을 측정하기 위해 순 주사기 계수(net syringe count), 신장 깊이, 그리고 교정 신장 계수의 3가지 기술적 요소를 고려해야 한다.[7] Gates 방법에서 상용화된 감쇠 보정 소프트웨어는 신장 깊이에 관한 자료를 대부분 서양인의 신장 깊이를 토대로 한 Tonnesen 방정식을 채용하고 있다.[11] 그렇지만 Tonnesen 방정식은 초음파 탐침을 경사 각도로 하여 신장 깊이를 측정했기 때문에 앙와위에서 영상을 얻는 신장 신티그람과는 차이가 있어 정확한 감쇠 보정을 기대하기는 어렵다.[8,9] Taylor 등[9]이 이에 착안해서 앙와위에서 얻은 복부 전산화단층촬영(이하 CT)을 이용해서 신장 깊이를 측정하여 사구체 여과율 측정에 이용하였지만 저자들은 서양인과 체격 조건이 다른 한국인에서 신장 깊이에 관한 방정식을 도출하고 이를 이용하여 사구체 여과율을 측정하고자 하였다.

대상 및 방법

복부 CT에서 신장의 이상 소견이 없는 성인 300명(남자 167명, 여자 133명, 평균 나이 50.9세, 범위 22~75세)을 대상으로 하였다. 이들의 복부 CT 중 신문(renal hilum)이 포함된 영상에서 피부면으로부터 신장의 최전면(a)과 최후면(b)까지의 깊이를 각각 측정하여 평균 깊이((a+b)/2, cm)를 구하였다(Fig. 1A). 그리고 Tonnesen 등에 의한 방정식(우신: 13.3×(체중/키)+0.7, 좌신: 13.2×(체중/키)+0.7)과 Talyor 등에 의한 방정식(우신: 153.1×(체중/키)+0.22×나이+0.77, 좌신: 161.7×(체중/키)+0.27×나이-9.4)에 관련변수를 각각 대입하여 신장 깊이를 산출하였다. 그리고 CT로 측정한 신장 깊이와 두 가지 방정식으로 구한 신장 깊이를 서로 비교하였다.

대상이 된 300명 중 200명을 무작위 추출하여 성별, 나이, 체중(kg), 키(cm) 등을 변수로 하고 다중회귀분석(multiple regression analysis, ORIGIN 6.0, Microcal Software)을 이용하여 방정식을 만들고 이 방정식을 토대로 신장 깊이를 산출하였으며 그 결과를 나머지 100명의 대조군의 측정치와 비교하였다.

신장 신티그람은 CT로 신장 깊이를 측정한 300명 이외의 다른 48명(남자 25명, 여자 23명, 평균 나이 50.6세)에서 시행했는데 Tc-99m DTPA 185 MBq (5 mCi)을 상완 정맥으로 순간 주사한 후 저에너지 고해상 평행 구멍형 조준기를 장착한 감마카메라(ORBITER, Siemens, Germany)로 앙와위에서 후면 영상을 얻었다. 신장 신티그람을 시행한 48명 모두에서 Tonnesen 등과 Taylor 등의 방정식과 저자들이 작성한 방정식으로 각각 신장 깊이를 구하였고 Gates 방법으로 사구체 여과율을 측정하였다. 신장 깊이와 사구체 여과율의 결과는 paired t-test를 시행하여 비교하였는데 p값이 0.05미만인 경우 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판정하였다.

결 과

300명의 복부 CT에서 측정한 신장 깊이의 평균은 남자 우신이 6.9 cm, 좌신이 6.7 cm, 여자 우신이 6.7 cm, 좌신 6.6 cm 이었다. Tonnesen 등의 방정식을 이용한 산출치는 남자 우신이 5.5 cm, 좌신 5.5 cm, 여자 우신이 5.4 cm, 좌신 5.4 cm으로 CT 측정치와 비교할 때 통계적으로 유의하게 낮았다 ($p<0.001$). Taylor 등의 방정식에 의한 산출치는 남자 우신 6.8 cm, 좌신 6.4 cm, 여자 우신 6.6 cm,

좌신 6.1 cm으로 CT 측정치에 좀더 가까운 수치를 보였지만 이중 여자 좌신의 경우는 CT 측정치에 비해 통계적으로 유의하게 낮았다($p<0.001$)(Table 1).

저자들이 도출한 방정식은 Table 2와 같다. 이 방정식으로 산출한 신장 깊이를 대조군의 측정치와 다중 회귀분석을 통해 비교한 결과 남자 우신과 좌신, 여자 우신과 좌신에서의 상관계수(r)는 각각 0.529, 0.729, 0.601, 0.724로 비교적 좋은 상관관계를 보였다(Fig. 2).

그리고 Tonnesen과 Taylor 방정식 및 저자들이

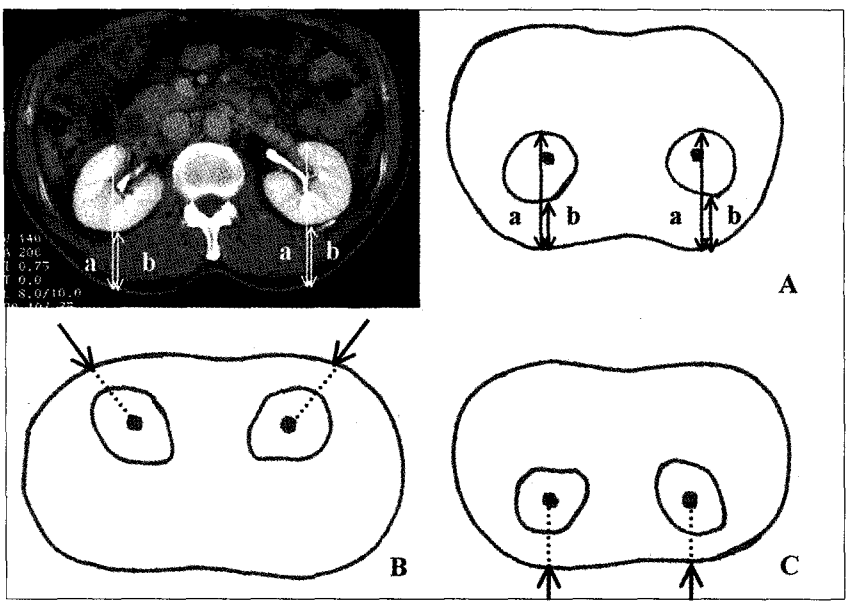

Fig. 1. (A) CT scan depicts lines from the skin to anterior (a) and posterior (b) renal surfaces at the level of the renal hilum. Renal depth was determined from the average of these values for each kidney. (B) Diagram shows the oblique angle used by Tonnesen to measure renal depth in sitting patients. (C) Diagram shows perpendicular angle used by Taylor to measure renal depth in supine patients.

Table 1. The Renal Depths (mean±S.D., cm) Measured from CT, and Estimated from Taylor and Tonnesen Equation

	CT	Taylor equation	Tonnesen equation
MRK* (n=167)	6.9±0.9	6.8±1.5	5.5±0.8‖
MLK† (n=133)	6.7±1.8	6.4±1.6	5.5±0.8‖
WRK‡ (n=167)	6.7±0.9	6.6±1.4	5.4±0.8‖
WLK§ (n=133)	6.6±1.1	6.1±1.6¶	5.4±0.7‖

* MRK, right kidney of men.
† MLK, left kidney of men.
‡ WRK, right kidney of women.
§ WLK, left kidney of women.
‖ $p<0.001$, vs CT and Taylor equation.
¶ $p<0.001$, vs CT

Table 2. New Equations for Renal Depth Calculation in Koreans

MRK*	12.813×(Weight/Height)+0.002×Age+2.264
MLK†	15.344×(Weight/Height)+0.011×Age+0.557
WRK‡	12.936×(Weight/Height)+0.014×Age+1.462
WLK§	13.488×(Weight/Height)+0.019×Age+0.762

* MRK, right kidney of men.
† MLK, left kidney of men.
‡ WRK, right kidney of women.
§ WLK, left kidney of women.

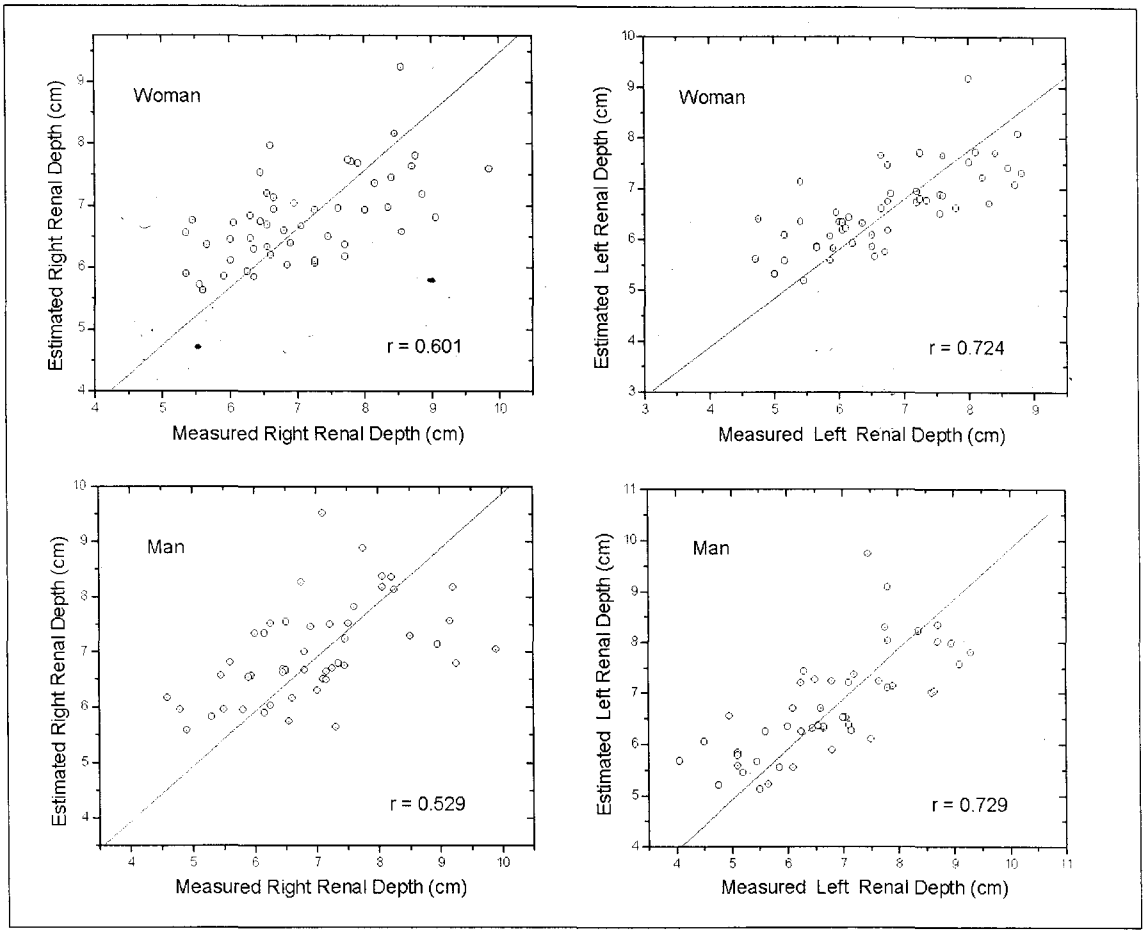

Fig. 2. The graphs demonstrate relationship between the renal depths measured by CT and the estimated renal depths by new equations in right kidney of the woman, left kidney of the woman, right kidney of the man, and left kidney of the man.

도출해낸 방정식을 이용하여 산출한 신장 깊이를 적용하여 사구체 여과율을 측정하여 비교해 보았을 때 Tonnesen 방정식을 이용한 경우가 그 값이 가장 낮았고 저자들의 방정식을 이용한 경우는 모두 가장 큰 값을 보였고 정상 사구체 여과율에 가장 가까운 수치를 나타냈다(Table 3). Paired t-test로 각각

Table 3. Glomerular Filtration Rate (mean±S.D., ml/min) Measured with Gates' Method Adopting New Equation, Taylor Equation and Tonnesen Equation

	MRK*	MLK†	WRK‡	WLK§
New equation	50.9±16.5	51.6±17.5	49.0±19.2	47.1±18.8
Taylor equation	46.9±16.0	46.7±17.7**	47.3±19.6	43.9±17.9**
Tonnesen equation	37.9±13.5	40.2±15.8	38.6±16.0	38.4±16.3

* MRK, right kidney of man.
† MLK, left kidney of man.
‡ WRK, right kidney of woman.
§ WLK, left kidney of woman.
** $p<0.05$., vs New equation.

의 사구체 여과율을 비교했을 때 저자들의 방정식에 의한 결과와 Tonnesen 방정식에 의한 결과는 통계적으로 유의한 차이를 보였고($p<0.05$), Taylor 방정식에 의한 결과와 비교하였을 때 남녀 좌신도 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

고 찰

이제까지 여러 가지 사구체 여과율 측정법이 개발되었는데 방사성 동위원소 주입 후에 직접 혈액이나 소변을 채취하여 제거율을 측정하는 방법은 정확도가 높은 반면 측정 방법이 복잡하여 측정 오차가 발생할 가능성이 높고 검사 시간이 길며 환자가 불편하기 때문에 널리 이용되고 있지는 않다. 반면에 감마카메라를 이용하여 사구체 여과율을 구하는 방법은 혈액이나 소변을 채취하여 측정하는 방법에 비해 정확도가 다소 떨어질 수 있으나 측정 방법이 간편하고 재현도가 우수하며 양쪽 신장의 사구체 여과율을 각각 측정할 수 있고, 신장 신티그람을 같이 얻을 수 있는 장점이 있어 임상적으로 널리 이용되고 있다.[1-11] 감마카메라를 이용하여 사구체 여과율을 구할 때 정확도에 영향을 미치는 여러 가지 인자들이 있는데 관심 영역의 설정, 배후 방사능 감쇠, 계수 통계, 조직에 의한 방출 방사선의 감쇠(attenuation of emitted radiation)와 피부-신장중심 거리(distance from skin-to-kidney center)가 있다.[9-17] 특히, Awdeh 등[7]은 Tc-99m DTPA를 주사한 후 감마카메라로 첫 2, 3분간 신장 피질에 집적된 방사능을 계측하여 사구체 여과율을 구하는 Gates 방법에서 순 주사기 계수, 신장 깊이, 그리고 교정 신장 계수의 3가지 기술적 요소가 사구체 여과율의 측정에 영향을 주므로 이 3가지 요소를 고려하여야 사구체 여과율을 정확하게 측정할 수 있다고 하였다.

신장 깊이의 다양성은 신장 방사능을 계측할 때 정확도에 영향을 주며 특히 각각의 신장의 기능을 분리하여 측정하는데 있어서 중요하고 테그네슘의 경우 유효감쇠계수는 0.12/cm, 선상감쇠계수는 0.153/cm로 알려져 있어 감마카메라 방법에서는 신장 깊이에 의한 감쇠를 교정해 주어야 한다.[8-10] 과거에는 이러한 신장 깊이에 의한 감쇠 교정을 위해서 신장과 몸무게에 기초를 둔 노모그람을 이용했었고 그 대치 방법으로 신장 신티그람을 얻은 후 다시 측면 영상을 얻어 신장 깊이를 측정하는 방법도 사용되었다. 그러나 이 방법도 검사가 종료된 후 추가 영상을 얻어야 한다는 점, 동위원소 주입 후 시간이 상당히 지난 후에 측면에서 정확한 신장 윤곽을 얻기 어렵다는 점과 추적 검사를 시행할 경우 재현도가 떨어지기 때문에 그에 따른 오차가 있어 노모그람과 비교할 때 더 정확한 정보를 제공하지는 않는다고 하였다.[12] 좀 더 정확한 신장 깊이를 얻기 위해서 초음파와 CT를 통해 계측하는 방법들이 이용되었는데[6,8] 현재 감쇠 교정을 위한 신장 깊이에 관한 자료로 대부분의 감마카메라에서 채용하고 있는 Tonnesen 등에 의한 방정식은 초음파로 측정한 신장 깊이를 이용한 것이다(Fig. 1B).[11] Tonnesen 방

정식은 좌위에서 측정한 신장 깊이를 이용했는데 신장 신티그람은 앙와위에서 시행하므로 자세에 따른 신장의 움직임에 의한 오차가 생기고 또한 초음파 탐침을 경사 각도로 하고 신장 깊이를 측정한 것도 오차의 원인이 될 수 있다. 이와 같이 Tonnesen 방정식에서는 신장 깊이가 과소 측정되므로 앙와위에서 시행한 CT에서 측정한 신장 깊이로 구한 Taylor 방정식을 이용했을 때 더 정확하게 사구체 여과율을 측정할 수 있다고 알려져 있다.[9] 이와 같은 이유로 저자들도 신장 신티그람을 시행할 때와 동일한 자세를 취하는 CT를 이용하여 Taylor 방정식을 구할 때와 비슷한 방법으로 신장 깊이를 측정하였다. 차이점은 Taylor 방정식에서는 신문이 보이는 단면에서 한 개의 선을 그어서 신장의 최전면과 최후면까지의 깊이를 얻어 평균 깊이를 구한 반면(Fig. 1C), 저자들은 최전면과 최후면이 같은 선상에 있지 않은 경우가 많은 점을 감안하여 신장의 최전면과 최후면의 정점을 지나는 각각의 평행선을 먼저 얻은 후에 그 두 선에 수직으로 다시 선을 그어서 각각의 깊이를 구하여 그 평균 깊이를 측정한 것이다(Fig. 1A). 저자들은 이와 같이 신장 깊이를 구하여 서양인과 체격 조건이 다른 한국인의 신장 깊이에 관한 방정식을 도출하였다. 이렇게 측정한 남녀의 우신과 좌신의 신장 깊이를 비교해 볼 때 저자들이 CT를 통하여 구한 측정치의 평균이 Tonnesen과 Taylor 방정식으로 구한 값보다 큰 수치를 보였다. Tonnesen 방정식에 의한 값이 가장 작았으며 Taylor 방정식에 의한 값은 여자 좌신의 경우를 제외하고는 저자들이 구한 실측치와 큰 차이를 보이지 않았다(Table 1). 또한 서양인이 한국인에 비해 평균 체격이 더 큰 것과 달리 신장 깊이는 계측 방법이 비슷한 Taylor 방법의 결과와 비슷했지만 한국인에서 다소 깊은 것으로 나타났다. 이렇게 측정한 측정치를 토대로 하여 체중, 키, 나이를 변수로 한 한국인 신장 깊이에 대한 방정식을 도출하였으며 이 방정식으로 구한 신장 깊이와 100명의 대조군의 측정치를 비교했을 때 좋은 상관관계를 보였다(Table 2).

그렇지만 남녀 모두 우신에서의 상관관계가 좌신에서보다 낮은 이유는 간의 크기에 따라 신장의 위치가 달라지며 이에 따라 신장축이 변화되어 신장 깊이가 달라질 수 있어 좌신에 비해 신장 깊이가 다양하기 때문으로 생각된다. 저자들의 방정식을 포함하여 3가지 방정식을 각각 이용하여 사구체 여과율을 산출한 결과는 저자들의 방정식을 이용했을 때 가장 높게 나와 정상 사구체 여과율과 가장 가까운 값을 보였고 Tonnesen 방정식을 이용했을 때 가장 낮게 측정이 되었다. Paired t-test로 저자들의 방정식에 의한 사구체 여과율을 서양인들의 방정식에 의한 값과 비교했을 때 Tonnesen 방정식에서 구한 사구체 여과율과는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 Taylor 방정식에 의한 값과는 남녀 모두 좌신에서만 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3). 이와 같이 저자들이 산출한 방정식을 통해 구한 사구체 여과율은 기존의 서양인 기준의 방정식들에 의한 결과와 차이를 보였고 특히 Tonnesen 방정식의 결과와 더 뚜렷한 차이를 나타내었으므로 현재 대부분 감마카메라에서 채용하고 있는 Tonnesen법에 비해 저자들의 방정식을 이용하면 한국인에서의 사구체 여과율을 더 정확하게 측정할 수 있을 것으로 생각한다. 그리고 앞으로 우측신의 정확도를 높이기 위한 신장 깊이의 측정 방법에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각한다.

소아의 경우에 과거에는 어른의 노모그람을 이용하거나 신장 깊이에 대해 교정을 하지 않는 경우가 많았지만 측면 신장 신티그람이나 CT를 이용하여 신장 깊이에 대한 자료를 얻음으로써 사구체 여과율뿐 아니라 신장 신티그람을 이용한 다른 정량적인 검사시 더 정확한 결과를 얻을 수 있다는 보고들이 있다.[16,17] 본 연구에서도 어른들의 신장 깊이를 이용해서 만든 방정식을 어른에서만 국한되어 적용시켰으나 앞으로 소아 영역으로 넓혀서 이용할 수 있을 것으로 생각한다.

결론적으로 현재 거의 모든 감마카메라 방법에서 신장 깊이의 자료로 이용하는 Tonnesen 방정식은 사구체 여과율을 과소 측정하나 한국인 체격 조건에 맞는 신장 깊이를 토대로 만든 방정식을 이용함으로써 한국인의 사구체 여과율을 보다 더 정확하게 측정할 수 있을 것으로 생각하며 더 나아가 유효신장혈장혈류와 Tc-99m DMSA를 이용한 섭취

율 등의 측정에도 적용할 수 있으리라 기대된다.

요 약

목적: 감마카메라를 이용한 사구체 여과율 측정에 필요한 신장 깊이에 관한 자료는 대부분 Tonnesen 등이 서양인의 신장 깊이를 토대로 작성한 방정식을 채용하고 있는데 이 방법은 신장 깊이를 과소평가하는 것으로 알려져 있다. 이에 저자들은 서양인과 체격 조건이 다른 한국인의 신장 깊이에 관한 방정식을 도출하여 다른 방법과 비교하고 이를 사구체 여과율 측정에 이용하고자 하였다. **대상 및 방법**: 신장에 이상 소견이 없는 성인 300명(남:여=167:133, 평균나이: 50.9세)의 복부 CT 사진 중 신문이 나온 영상에서 피부면으로부터 신장의 최전면과 최후면까지의 깊이를 각각 측정하여 평균 깊이를 구하였다. 대상이 된 300명중 200명을 무작위 추출하여 성별, 나이, 체중, 키를 변수로 하여 방정식을 도출하였고, 이를 토대로 산출한 신장 깊이와 대조군 100명의 신장 깊이 측정치를 비교하였다. 이어 Tc-99m DTPA 신장 신티그람을 시행한 또 다른 48명(남:여=25:23, 평균나이: 50.6세)에서 Tonnesen, Taylor와 저자들의 방정식으로 각각 산출한 신장 깊이를 사용하여 Gates 방법으로 사구체 여과율을 측정하여 비교 분석하였다. **결과**: CT로 측정한 신장 깊이의 평균은 남자 우신: 6.9 좌신: 6.7, 여자 우신: 6.7 좌신: 6.6 cm이었다. 저자들의 측정치와 비교할 때 Tonnesen 방정식으로 구한 산출치(남자 우신: 5.5 좌신: 5.5, 여자 우신: 5.4 좌신: 5.4 cm)는 낮았고 그 차이는 통계적으로 유의하였다. Taylor 방정식의 산출치(남자 우신: 6.8 좌신: 6.4, 여자 우신: 6.6 좌신: 6.1 cm)는 여자 자신을 제외하고는 모두 비슷하였다. 저자들이 도출한 방정식은 남자 우신: 12.813(체중/키)+0.002(나이)+2.264, 좌신: 15.344(체중/키)+0.011(나이)+0.557, 여자 우신: 12.936(체중/키)+0.014(나이)+1.462 좌신: 13.488(체중/키)+0.019(나이)+0.762 이었다. 이 방정식의 산출치를 대조군의 측정치와 비교한 결과 남자 우신과 좌신, 여자 우신과 좌신에서의 상관계수 r은 각각 0.529, 0.729, 0.601, 0.724 이었다. 3가지 방정식을 이용하여 측정한 사구체 여과율 중 저자들의 방정식으로 구한 것이 가장 큰 값을 보여 정상 사구체 여과율에 가장 가까웠고 Tonnesen 방정식으로 구한 것이 가장 낮았다. **결론**: 한국인 신장 깊이를 토대로 만든 방정식을 이용하여 한국인의 사구체 여과율을 비롯한 신장 청소율과 Tc-99m DMSA 신장 섭취율 등을 보다 정확하게 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1) Russell CD, Bischoff PG, Kontzen FN, Rowell KL, Yester MV, Lioyd LK, et al. Measurement of glomerular filtration rate: single injection plasma clearance method without urine collection. *J Nucl Med* 1985;26:1243-7.
2) Waller DG, Keast CM, Fleming JS, Ackery DM. Meaurement of glomerular filtration rate with technetium-99m DTPA: comparison of plasma clearance techniques. *J Nucl Med* 1987;28:372-7.
3) Fawdry RM, Gruenewald. Three-hour volume of distribution method: an accurate simplefied method of glomerular filtration rate measurement. *J Nucl Med* 1987;28:510-3.
4) Mulligan JS, Blue PW, Hasbargen JA. Methods for measuring GFR with technetium-99m-DTPA: an analysis of several common methods. *J Nucl Med* 1990;31:1211-9.
5) Li Y, Lee HB, Blaufox MD. Single-sample methods to measure GFR with technetium-99m-DTPA. *J Nucl Med* 1997;38:1290-5.
6) Gates GF. Computation of glomerular filtration rate with Tc-99m DTPA: an in-house computer program. *J Nucl Med* 1984;25:613-8.
7) 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.
8) Gates GF. Glomerular filtration rate. Estimation from fractional renal accumulation of Tc-99m DTPA (stannous). *AJR* 1982;138:565-70.
9) 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.
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.

11) 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. cited from reference 9).

12) Chachati A, Meyers A, Gordon JP, Rigo P. Rapid method for measurement of differential renal function: validation. *J Nucl Med* 1987;28: 829-36.

13) Gruenewald SM, Collins LT, Fawdry RM. Kidney depth measurement and its influence on quantitation of function from gamma cammera renography. *Clin Nucl Med* 1985;10:398-401.

14) Harting OJ, Marving J, Munck O. Scintigraphy of kidneys located at different depths: the geometric mean method for determination of differential renal function. *Clin Nucl Med* 1987; 12:956-7.

15) Maneval DC, Magill HL, Cypess AM, Rodman JH. Measurement of skin-to-kidney distance in children: implications for quantitative renography. *J Nucl Med* 1990;31:287-91.

16) Steinmetz AP, Awas ST, Macadziob S, Rotemberg G, Shrem Y. Renal depth estimated to improve the accuracy of glomerular filtration rate. *J Nucl Med* 1997;38:1290-5.

17) Lythgoe MF, Gradwell MJ, Evans K, Gordon I. Estimation and relevance of depth correction in paediatric renal studies. *Eur J Nucl Med* 1998; 25:115-9.