

^{99m}Tc-DTPA 및 Gamma Scintillation Camera를 이용한 사구체 여과율의 측정

고려대학교 의과대학 방사선과학교실, 내과학교실*

최재걸 · 백세현* · 이민재 · 서원혁

= Abstract =

Estimation of Glomerular Filtration Rate Using ^{99m}Tc-DTPA and Gamma Scintillation Camera

Jae Gol Choe, M.D., Sei Hyun Baik, M.D.,* Min Jae Lee, M.D. and Won Hyuck Suh, M.D.

Department of Radiology and Internal Medicine* College of Medicine, Korea University, Seoul, Korea

The radioisotopic measurement of glomerular filtration rate (GFR) has required analysis of serial blood or urine samples over several hours, and does not allow measurement of separate renal function unless separate catheterization of individual ureters is done. Gates described isotopic method for the measurement of global and unilateral GFR based on the determination by scintillation camera of the fraction of the injected dose of ^{99m}Tc-diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) present in the kidneys 2-3 minutes after its administration.

We calculated GFR according to Gates' method in 58 adult patients with various levels of global renal function using ^{99m}Tc DTPA and validated this technique by correlation with 24 hour creatinine clearance. A good correlation was observed between 24 hour creatinine clearance and GFR calculated by Gates' formula, with an r value of 0.91 (p<0.01).

We concluded that determination of GFR according to the Gates' formula allows good and reproducible prediction of GFR with great rapidity and simplicity rendering this technique suitable for clinical practice.

서 론

사구체 여과율(Glomerular Filtration Rate, GFR)의 측정은 신장 기능의 평가, 의심되는 신장 질환의 진단 및 만성적인 신질환에서의 질병의 경과 관찰에 중요한 지표가 되며 신장으로 배설되는 독성 약물의 용량제산에 필수적이다¹⁾. ^{99m}Tc-DTPA는 사구체 여과율을 측정하는 데 필수적인 여러 가지 요구 조건을 충분히 만족시키며 그 간편함이 인정되어서 GFR의 측정에 널리 이용되고 있다. 과거에 많이 이용되던 대화 채혈 방법은 채혈 과정과 계산 과정이 복잡하고 시간이 걸리고 여러 번의 채혈로 환자에게 부담을 주는 단점이 있다.

Schlegel등^{2,3)} 및 Gates^{4,5)}는 감마 카메라를 이용하여 신장 스캔과 동시에 체외 계측으로 배후 방사능을 보정한 신장의 섭취율을 구하여 이것이 사구체 여과율과 유의한 상관 관계가 있다는 것을 밝히고 회귀 방정식을 이용하여 사구체 여과율을 계산할 수 있다고 보고하였다. 이후 이 방법은 환자에게 별다른 고통을 주지 않으면서 정확하게 사구체 여과율을 측정할 수 있는 비관혈적인 방법으로 인정받고 있다^{6,7)}.

저자들은 여러가지 신장 질환에서 Gates의 방법을 이용하여 사구체 여과율을 구하고 이것을 24시간 크레아티닌 청소율과 비교함으로써 상관 계수를 구하여 임상적으로 의의가 있는 지 알아보았다.

대상 및 방법

정상 및 신장 질환이 의심되는 58명의 성인 환자를 대상으로 (Table 1, 2) $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 를 이용하여 레노그램과 병행하여 GFR을 측정하였다. 사용한 감마 카메라는 Elscint사의 Apex SP-6였고 측정 방법은 앙와위로 환자를 눕히고 탐색기는 피검자의 후부에 가능한 가까이 위치시켰다. $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 8mCi를 피검자의 상박 정맥에 순간 주사하고 감마 카메라의 연속적인 영상을 128 matrix, word 방식으로 2초 간격으로 1분, 15초간격으로 14분까지 총 15분간 수록하였다.

실제적으로 사구체 여과율을 구하기 위해서는 6분의 계수치이면 충분하지만²⁻⁵⁾ 요로를 영상화하고 레노그램을 얻기 위하여 시간을 15분 까지 늘렸다. 피검자의 체내에 주사된 방사능 양을 측정하기 위하여 주사하기 직전에 탐색자로부터 30 cm 떨어진 거리에서 주사기를 1

분간 계속하고 모든 영상 수록이 끝난 후에 다시 주사기를 같은 방법으로 1분간 계속하여 실제 투여된 방사능의 계수치를 구하였다. 연속적인 신장의 영상에서 양측 신장의 관심 영역을 그리고 신장 주변의 배후 영역을 묘사하여 배후 방사선 양을 뺀 시간 방사능 곡선에서 2분~3분 사이의 방사능 양을 합산한 것을 총신장 방사선 계수치로 하고 실제 투여된 계수치에 대한 총신장 방사능 계수치의 백분율을 신장의 섭취율로 하였다.

$$\% \text{ Renal Uptake} =$$

$$\frac{\frac{\text{Lt kidney count-Background}}{e^{-\mu x}} + \frac{\text{Rt kidney count-Background}}{e^{-\mu x}}}{\text{Preinjection count-Postinjection count}}$$

×100

여기에서 μ 는 Tc-99m의 연부조직 감쇠 계수로 0.153이고 x 는 피부로부터 신장의 중심부까지의 거리로 Tonnesen의 공식⁶⁾을 이용하여 cm 단위로 구하였다. 즉,

$$\text{Right Kidney Depth} = 13.3 (\text{weight/height}) + 0.7$$

$$\text{Left Kidney Depth} = 13.2 (\text{weight/height}) + 0.7$$

GFR은 Gates의 회귀 방정식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{GFR (ml/min)} = \% \text{ Renal Uptake} \times 9.8127 - 6.82519$$

혈청 크레아티닌 농도는 근육의 총 질량과 비례하므로 나이와 몸무게 및 혈청 크레아티닌치를 알면 공식에 의하여 크레아티닌 청소율을 계산할 수 있다. 즉 남자에서는

$$\text{Creatinine Clearance}$$

$$= \frac{(140 - \text{age}) \times \text{weight (kg)}}{72 \times \text{serum creatinine (mg/dl)}}$$

이고, 여자의 경우에는 남자의 85%이다⁹⁾.

동위원소를 이용하여 계산된 GFR과 24시간 요로 계산한 크레아티닌 청소율 간의 상관 관계 (n=50), 및 GFR과 공식에 의한 크레아티닌 청소율 간의 상관 관계 (n=45)를 SAS 통계 프로그램을 이용하여 상관 및 회귀 분석을 하였다.

결 과

각종 질환에서 동위원소를 사용하여 계산한 GFR은 0에서 109.4 ml/min 까지였다. GFR과 24시간 요에 의

Table 1. Age and Sex Distribution

Age	M	F	Total
20 - 29	2	5	7
30 - 39	15	.	15
40 - 49	12	3	15
50 - 59	6	6	12
60 - 69	5	3	8
70 -	1	.	1
Total	41	17	58

Table 2. Summary of Clinical Diagnosis

Disease	No. of Patient
Chronic Renal Failure	19
CS2 Intoxication	15
Glomerulonephritis	4
Pyelonephritis	3
Nephrotic Syndrome	3
Hypertension	2
Diabetic nephropathy	2
Horse-shoe kidney	1
Others	2
Normal	7
Total	58

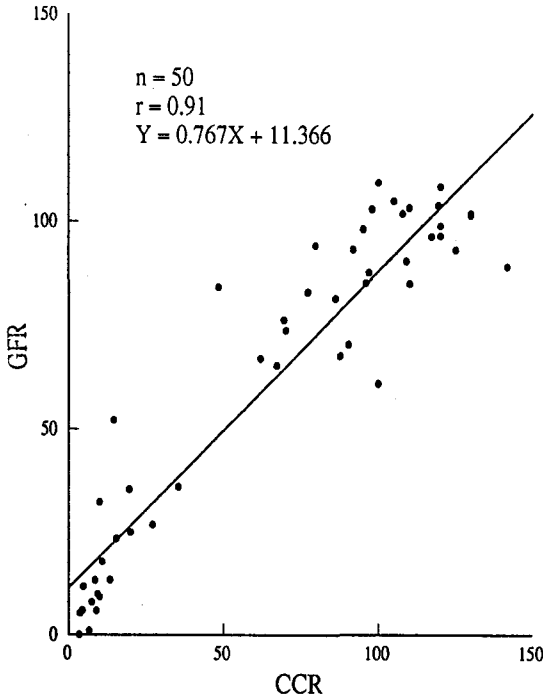


Fig. 1. Relationship between creatinine clearance and glomerular filtration rate.

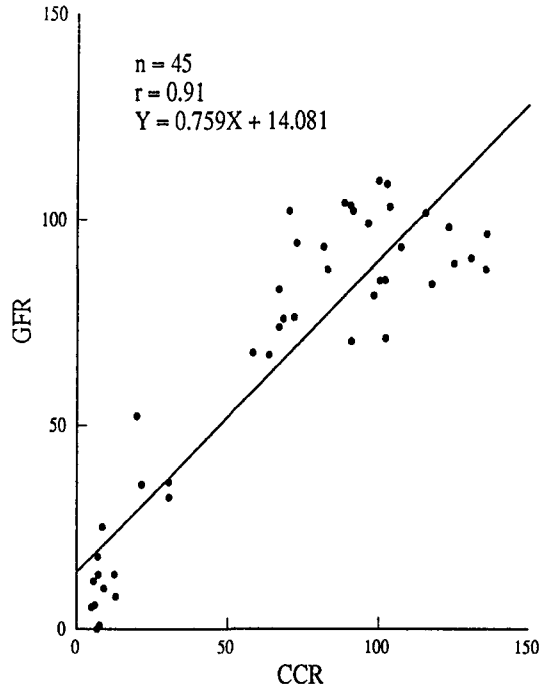


Fig. 2. Relationship between calculated creatinine clearance and glomerular filtration rate.

한 크레아티닌 청소율을 얻을 수 있었던 50례에서의 상관 계수는 0.91($p < 0.01$)로 정의 상관계수가 있었다(Fig. 1).

혈청 그크레아티닌과 나이 몸무게에 따라 산출한 크레아티닌 청소율과 동위원소를 이용하여 얻어진 GFR의 비교에서($n = 45$) 상관 계수는 $r = 0.91$ ($p < 0.01$)로 역시 정의 상관계수를 보였다(Fig. 2).

고 찰

이상적인 GFR의 측정 방법은 inulin 청소율의 측정이나 이 경우 계속적인 정맥내 수사를 해야하고 여러번 채혈을 해야하며 각각의 분신 기능의 평가를 위해서는 방광 또는 요관의 선택적 도자(catheterization)를 해야하는 단점이 있어서 임상에 널리 사용하기에는 적당하지 않다. 내인성(endogeneous) 크레아티닌 청소율의 측정이 임상에서 보다 널리 이용되고 있으나 이것은 정확하게 24시간 뇨를 모아야하는 번거로움이 있고 소량 세뇨관에서도 분비됨으로 GFR을 높게 평가할 단점이 있다.

이것 또한 총신장의 GFR은 반영하나 분신 기능은 선택적 도자를 하지 않으면 측정할 수 없다^{7,10,11}.

방사성 동위원소를 이용하여 GFR을 측정하는 방법에 대하여 여러 연구자들이 보고하였는데 방사성 의약품으로 ⁵¹Cr EDTA¹², ^{113m}In DTPA¹³, ¹⁶⁹Yb DTPA¹⁴, ¹³¹I Diatrizoate(Hypaque) 등¹⁵을 이용하였다. GFR을 측정하기 위한 방사성 의약품의 조건은 사구체에서 완전히 여과될 것, 신 세뇨관에서 합성되거나 파괴되지 않고, 재흡수 또는 분비되지 않을 것, 생리적으로 무해할 것, 혈장 단백질과 결합하지 않을 것 등이다^{16~18}.

^{99m}Tc으로 표지된 DTPA는 사구체 여과에 의해 배설되고 그것의 혈장내 청소율은 사구체 여과율을 반영한다¹⁷. Hilson 등¹⁹이 1976년 ^{99m}Tc-DTPA와 ⁵¹Cr EDTA를 사용하여 측정한 GFR을 비교하여 상관 계수가 $r = 0.99$ 라고 보고하였으며 Braren 등¹⁶은 ^{99m}Tc-DTPA로 측정한 GFR과 24시간 요에 의한 크레아티닌 청소율을 비교하였는데 유의한 상관 관계가 있다고($r = 0.87$)하였다. Balachandran 등²⁰도 ^{99m}Tc-DTPA로 계산된 GFR과 inulin clearance 간의 상관 관계는 높았다

고 하였다.

그러나 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 는 소량이 혈장 단백질과 결합하게 되는데 이 경우 실제 GFR 보다 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ clearance 가 낮게 측정되는 제한성이 있다. Klopper 등¹⁷⁾은 ^{14}C inulin, $^{131}\text{I-iodohippurate}$, ^{125}I iothalamate 청소율과 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 청소율을 비교하여 비슷한 혈장 소실율을 보였으며 계속적인 주입을 할 경우 혈장 단백질과의 결합율은 9.7%이지만 단회 주사하였을 경우 결합율은 3.7%로 비교적 적어서 GFR을 측정할 수 있는 방사성의약품으로서의 요구 조건을 충족시킨다고 확인하였다. 또한 Braren 등¹⁶⁾도 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 가 약간의 혈장 단백질과 결합은 하지만 측정치의 정확성에는 영향이 거의 없다고 하였다. 이와같이 쉽게 취급할 수 있고 환자에 대한 피폭선량이 적고 값이 싸고 scintillation camera를 이용하기 쉬운 장점 때문에 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 는 현재 GFR의 측정에 가장 널리 쓰이는 중요한 위치를 차지하게 되었다.^{3,16,17,19,21~28)}

과거에 GFR의 측정을 위해 많이 사용되었던 방법은 이들 방사성 의약품을 이용하여 한번 주사하고 4시간까지 여러번 채혈하여 혈장 소실 곡선을 얻어서 지수 분석(exponential analysis)을 하여 회귀 방정식으로 GFR을 계산하는 것이었다.^{16,17,19,24,29)} 여러번 채혈하는 번거로움 때문에 1회 또는 2회 채혈을 하여 GFR을 측정하는 방법이 여러 연구자들에 의해 제시되었다.^{15,23,25,28,30~33)}

Tauxe 등³²⁾이 1971년 ERPF를 측정하는데 단회 채혈 방법을 소개하였고 1975년 Fisher 등³³⁾이 GFR을 측정하는데 응용하였다. Russell 등³¹⁾은 주입후 여러번 채혈하는 방법과 일정시간후 1회 또는 2회 채혈하는 방법과를 비교하여 1회 또는 2회 채혈 방법이 standard error가 각각 8, 4 ml/min로 큰 오차 없이 정확하게 GFR을 반영한다고 하였다. 그러나 이 방법도 표준적인 계속적인 주입 방법보다는 쉽게 실행할 수 있지만 채혈을 하는 과정과 scintillation counter로 계수하는 과정이 시간이 걸리고 복잡한 단점이 있다⁷⁾.

혈액이나 요의 채취를 하지 않고 체의 계측으로만 GFR을 측정하는 방법은 번거로운 채혈 과정을 생략할 수 있고 선택적 도자 없이도 분신 기능을 측정할 수 있는 장점이 있다^{2~5,34)}. 요관으로 배설 되기 전까지 신장에 방사성 의약품이 축적되는 율은 혈장에서의 제거율과 같다. 그러므로 청소율은 레노그램 곡선의 초기 상에 반영된다. 이들 경험적인 방법은 동위원소의 주입후 방사능

이 신장이 나타나기 시작하는 때로부터 특정한 시간 간격에 일어나는 신장의 상대적 신섭취율이 GFR과 상관관계가 있다는 관찰에 근거한다^{2~5,34)}. 1975년 Skripka 등³⁴⁾이 감마 카메라를 이용하여 레노그램의 초기 graph와 신장 기능 간에 상관 관계가 있다는 것을 밝혔고, Schlegel 등^{2,3)}은 레노그램의 초기 1~2분간의 신장의 방사능 섭취율과 유효 신혈장 유량과의 상관관계를 밝히고 회귀 분석으로 계산하는 방법을 보고하였다. Gates^{4,5,35)}는 배후 방사능이 교정된 레노그램 곡선을 만들고 양측 신장의 2~3분에서의 total count를 구하고 각각의 신장의 깊이에 따른 감마선 감쇠를 고려하여 신섭취율(percentage renal uptake)을 얻어서 회귀 방정식에 의해 사구체 여과율을 구하였다. 이렇게 얻은 GFR과 크레아티닌 청소율을 비교하였더니 유의한 상관 관계를 보였다고 하였다.

이 방법의 장점은 plasma clearance technique 보다 실제의 사구체 여과율과의 상관 계수가 높고 같은 환자를 여러번 측정하였을 때 재현성이 우수하며 각각의 신장의 분할 기능의 측정에 우수함을 보인다. 더군다나 이 방법은 방사성 동위원소를 한번 준비하여 주입하는 것만으로 충분하며 단지 6분 이내로 검사가 완료될 수 있으므로 환자에게 부담을 주지 않고 빠르고 간편하게 시행할 수 있다^{4~7)}. 저자들의 경우에는 상관 계수가 $r=0.91$ 로 (standard error 3.7 ml/min, $p<0.01$) 유의한 상관 관계를 보였다. 이것은 Gates 등의 경우보다 ($r=0.99$) 약간 떨어지나 이등³⁶⁾, ($r=0.82$) 또는 Chachati 등⁷⁾의 경우 ($r=0.88$) 보다는 높은 상관 관계를 보였다.

Jackson 등³⁷⁾이 scintillation camera로 통상적인 신장 스캔을 하면서 혈액 및 요를 채취하여 사구체 여과율을 측정하는 방법을 소개하였는데 이 방법은 방사성 화학 물질이 체액 내의 분포도에 영향을 받지 않고 환자에게 주사 되는 방사능 양을 측정할 필요가 없고 통상적인 신장 스캔과 같이 시행할 수 있으며 분신 기능을 측정할 수 있는 장점이 있으나 방광의 방사능 측정이 필요하며, 혈액과 요를 채취하여 scintillation counter로 측정해야 하는 번거로움이 있고 폐쇄성 신장 질환이나 방광 요관 역류가 심할 경우 여과된 방사능이 정체되어 방광 방사능 측정이 정확하게 계측되지 않음으로 사용할 수 없다는 단점이 있다. Gates의 방법은 통상 6분으로 검사가 완료되나 Jackson 등의 방법은 시간이 좀더 오래 걸리는 (30~40분) 것이 단점이다³⁸⁾. 저자들의 경우에는 레

노그람까지 얻기위하여 15분까지 검사시간을 연장하였으나 주사기의 계수 측정시간(2분) 및 피검자의 준비에 소요되는 시간까지 합쳐도 20~30분이면 충분하였다.

신장의 깊이를 측정하는 Tonnesen method는 Schlegel등^{2,3)}이 유효 신 혈장 유량 및 사구체 여과율을 측정하는 데 이용하여 유용성이 증명된 바 있다. Chachati 등⁷⁾은 신장의 깊이에 따른 감마선 감쇠를 보정하여 GFR을 계산하는 데 Tonnesen의 공식을 이용한 경우, 측면 스캔상을 이용한 경우, 또 초음파를 이용하여 측정 한 경우 어느 것이나 모두 상관성이 높았다고 하였으며, 이등³⁾은 신장의 깊이 측정에 초음파를 이용한 경우보다 Tonnesen 공식을 이용한 경우가 더 상관성이 높았다고 하였다. 이상과 같이 신장 깊이 측정에 있어서도 초음파로 실측하는 것과 별차이가 없이 Tonnesen 공식을 이용하는 경우에도 유의한 결과를 얻을 수 있어 실제 임상에 적용하기에 무리가 없으리라 사료된다.

결 론

이상으로 Gates의 방법을 이용한 사구체 여과율의 측정은 통상적인 신장 스캔과 동시에 시행함으로써 환자에게 별다른 고통을 주지 않으면서 간편하게 시행할 수 있고, 크레아티닌 청소율과의 상관 계수도 높아서 사구체 여과율 정확히 반영한다는 결론을 얻었다. 저자들의 방법은 레노그람을 동시에 시행함으로써 유용한 정보를 가 능한 많이 얻을 수 있었으며 임상에 유용하게 쓰일 수 있을 것이라 사료된다.

REFERENCES

- 1) Bianchi C, Donadio C, Tramonti G: *Noninvasive methods for the measurement of total renal function. Nephron* 28:53-57, 1981
- 2) Schlegel JU, Hamway SA: *Individual renal plasma flow determination in 2 minutes. J Urol* 116:282-285, 1976
- 3) Schlegel JU, Halikiopoulos HL, Prima R: *Determination of filtration fraction using the gamma scintillation camera. J Urol* 122:447-450, 1979
- 4) Gates GF: *Glomerular filtration rate: Estimation from fractional renal accumulation of ^{99m}Tc -DTPA (stannous). Am J Roentgenol* 138:565-570, 1982
- 5) Gates GF: *Computation of glomerular filtration rate*

- with ^{99m}Tc -DTPA: *An in-house computer program. J Nucl Med* 25:613-618, 1984
- 6) Shore RM, Koff SA, Mentser M, Hayes JR, Smith SP, Smith JP, Chesney RW: *Glomerular filtration rate in children: Determination from the ^{99m}Tc DTPA renogram. Radiology* 151:627-633, 1984
- 7) Chachati A, Meyers A, Godon JP, Rigo P: *Rapid method for the measurement of differential renal function: Validation. J Nucl Med* 28:829-836, 1987.
- 8) Tonnesen KH, Munck O, Hald T, Mogensen P, Wolf H: *Influence on the renogram of variation in skin to kidney distance and the clinical importance thereof. Presented at the international symposium on radionuclides in nephrology. Berlin, April, 1974 (Cited by Schlegel, JU, Hamway, SA: Individual renal plasma flow determination in 2 minutes). J Urol* 116:282-285, 1976
- 9) Nies AS: *Principles of drug therapy, Cecil Textbook of Medicine. Edited by Wyngarrden JB, Smith LH Jr, Bennet JC. Philadelphia, W.B. Saunders company, 1992, pp 84*
- 10) Price M: *Comparison of creatinine clearance to inulin clearance in the determination of GFR. J Urol* 107:339-340, 1972
- 11) Brod J, Sorota JH: *Renal clearance of endogeneous "creatinine" in man. J Clin Invest* 27:645-654, 1948
- 12) Stacy BD, Thorburn GD: *Chromium-51 Ethylenediaminetetraacetate for estimation of glomerular filtration rate. Science* 152:1076-1077, 1966
- 13) Reba RC, Hosain F, Wagner HN, Jr: *Indium-113m diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA): A new radiopharmaceutical for study of the kidneys. Radiology* 90:147-149, 1968
- 14) Hosain F, Reba RC, wagner HN: *Measurement of GFR using chelated ytterbium-169. Int J Appl Radiat* 20:517-521, 1969
- 15) Tauxe WN, Bagchi A, Tepe PG, Krishnaiah PR: *Single-sample method for the estimation of glomerular filtration rate in children. J Nucl Med* 28:266-371, 1987
- 16) Braren V, Versage PN, Touya JJ, Brill AB, Goddard J, Rhamy RK: *Radioisotopic determination of glomerular filtration rate. J Urol* 121:145-147, 1979
- 17) Klopper JF, Hauser E, Atkins HL, Eckelman WC, Richards P: *Evaluation of ^{99m}Tc DTPA for the*

- measurement of glomerular filtration rate. *J Nucl Med* 13:107-110, 1971
- 18) Hall JE, Guyton AC, Farr BM: A single-injection method for measuring glomerular filtration rate. *Am J Physiol* 232:F72-F76, 1977
- 19) Hilson AJW, Maisey MN: ^{99m}Tc -DTPA for the measurement of glomerular filtration rate. *Brit J Radiol* 49:794-796, 1976
- 20) Balachandran S, Toguri AG, Petrusick TW, Abbott LC: Comparative evaluation of quantitative glomerular filtration rate measured by isotopic and non-isotopic methods. *Clin Nucl Med* 4:150-153, 1981
- 21) Carlsen JE, Møller ML, Lund JO, Trap-Jensen J: Comparison of four commercial ^{99m}Tc (Sn) DTPA preparations used for the measurement of glomerular filtration rate: Concise communication. *J Nucl Med* 21:126-129, 1980
- 22) Hauser W, Atkins HL, Nelson KG, Richards P: Technetium- 99m DTPA: a new radiopharmaceutical for brain and kidney scanning. *Radiology* 94:679-684, 1970
- 23) Fawdry RM, Gruenewald SM: Three-hour volume of distribution method: An accurate simplified method of glomerular filtration rate measurement. *J Nucl Med* 28:510-513, 1987
- 24) Chatterton BE: Limitation of the single sample tracer method for determining glomerular filtration rate. *Brit J Radiol* 51:981-985, 1978
- 25) Russell CD, Bischoff PG, Rowell KL, Lloyd LK, Dubovsky EV: Estimation of extracellular fluid volume from plasma clearance on Technetium- 99m DTPA by a single-injection, two-sample method. *J Nucl Med* 29:255-258, 1988
- 26) Kuruc A, Treves ST, Rosen PR, Greenberg D: Estimating the plasma time-activity curve during radionuclide renography. *J Nucl Med* 28:1338-1340, 1987
- 27) Russell CD, Bischoff PG, Rowell KL, Kontzen F, Lloyd LK, Tauxe WN, Dubovsky EV: Quality control of ^{99m}Tc -DTPA for measurement of glomerular filtration: Concise communication. *J Nucl Med* 24:722-727, 1983
- 28) Waller DG, Keast CM, Fleming JS, Ackery DM: Measurement of glomerular filtration rate with ^{99m}Tc -DTPA: Comparison of plasma clearance techniques. *J Nucl Med* 28:372-377, 1987
- 29) Blaufox MD, Merrill JP: Simplified hippuran clearance: measurement of renal function in man with simplified hippuran clearance. *Nephron* 3:274, 1966
- 30) Tauxe WN: Determination of glomerular filtration rate by single plasma sampling technique following injection of radioiodinated diatrizoate. *J Nucl Med* 27:45-50, 1986
- 31) Russell CD, Bischoff PG, Kontzen FN, Rowell KL, Yester MV, Lloyd LK, Tauxe WN, Dubovsky EV: Measurement of glomerular filtration rate: single injection plasma clearance method without urine collection. *J Nucl Med* 26:1243-1247, 1985
- 32) Tauxe WN, Maher FT, Taylor WF: Effective renal plasma flow: Estimation from theoretical volumes of distribution of intravenously injected ^{131}I orthoiodohippurate. *Mayo Clin Proc* 46:524-531, 1971
- 33) Fisher M, Veall N: Glomerular filtration rate estimate based on a single blood sample. *Br Med J* 3:542, 1975
- 34) Skripka CF, Jr, Schlegel JU: Accurate determination of renal function by renal histography without collection of blood or urine. II. Correlation of the renal histogram and renal function. *J Urol* 114:809-812, 1975
- 35) Gates GF: Split renal function testing using ^{99m}Tc -DTPA. *Clin Nucl Med* 8:400-407, 1983
- 36) 이규보, 황기석, 조동규: 방사성 동위원소를 이용한 GFR 검사의 연구. *경북의대지* 29:411-415, 1988
- 37) Jackson JH, Blue PW, Ghaed N: Glomerular filtration rate determined in conjunction with routine renal scanning. *Radiology* 154:203-205, 1985
- 38) 이강욱, 한진석, 정준기, 이명철, 이정상, 고창순: 통상적 ^{99m}Tc -DTPA 신장 스캔을 이용한 GFR 측정. *대한핵의학회지* 23:49-54, 1989