

&lt;원저&gt;

## 관심 영역 설정에 따른 Gates법 토리여과율의 유효성 평가

박수영<sup>1)</sup>·안성민<sup>2)</sup><sup>1)</sup>가톨릭대학교 은평성모병원 핵의학과·<sup>2)</sup>가천대학교 방사선학과

## Evaluation of Validity Glomerular Filtration Rate Measured by Gates Method according Region of Interest

Su-Young Park<sup>1)</sup>·Sung-Min Ahn<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Department of Nuclear Medicine, The Catholic University of Korea, Eunpyeong St. Mary's Hospital<sup>2)</sup>Department of Radiological Science, Gachon University

**Abstract** The glomerular filtration rate (GFR) has been the subject of much research as a key indicator for diagnosing, treating, and monitoring kidney function. The gamma camera method (Gates method) is simple and allows simultaneous acquisition of GFR and renal scintigraphy for each kidney, however its accuracy is inferior. This study aimed to investigate changes in GFR depending on how region of interest (ROI) are set up, which is one of many factors influencing accuracy. GFR was calculated by setting the ROI for each phase of the image acquisition time (Gates-1: 0~1 minutes, Gates-2: 1~3 minutes, Gates-3: 3~27 minutes), and statistical significance was verified based on probability value 0.05 through ANOVA analysis. While there was no statistically significant difference among results from Gates-1, 2, 3 ( $p=0.481>0.05$ ), overall results from the Gates method tended to overestimate compared to those from the multiple blood sampling-dual exponential (MBSDE) method. When comparing averages between phases, results from Gates-2 were most similar to those from the MBSDE method. Moreover, paired t-test p-values between MBSDE method and phases were as follows Gates-1: 0.021 ( $p<0.05$ ), Gates-2: 0.280 ( $p>0.05$ ), and Gates-3: 0.164 ( $p>0.05$ ) indicating that only Gates-1 had statistically significant differences compared with MBSDE method. Thus, setting ROI around 2~3 minutes is calculated can aid in accurately determining GFR when Gates Method.

**Key Words**: Glomerular Filtration Rate (GFR), Multiple Blood Sampling-Dual Exponential Method (MBSDE), Gamma Camera, Gates Method, Region Of Interest (ROI)

**중심 단어**: 토리여과율, 다중채혈 이중 지수 법, 감마카메라, Gates 법, 관심 영역

## I. 서론

토리여과율(Glomerular Filtration Rate, GFR)은 콩팥 질환 환자의 진단 및 치료뿐 아니라 정상인의 투약 및 이식 콩팥의 평가 등에 활용하는 대표적인 지표로 정확한 GFR의 측정 방법에 관한 연구는 국내외에서 지난 수십 년간 계속 되어왔다[1,2].

GFR을 산출하는 가장 흔한 방법은 혈청에서 특정물질을

측정하여 산출하는 방법이다. 이러한 혈청 포식자의 이상적인 조건은 여러 가지인데 인체에 해가 없는 성분이고 일정한 속도로 생성되어야 한다. 또한 토리에서만 여과가 발생하며 여과된 후 재흡수나 대사되지 않고 콩팥 세관에서 분비되지 않는 물질인 경우이다[3]. 이놀린을 지속해서 투입하여 측정하는 방법이 이와 같은 조건을 충족하는 가장 좋은 GFR의 측정 방법이지만 시간 및 비용, 검사과정의 복잡성 등으로 인해 제한점이 많다[4-8].

Corresponding author: Sung-Min Ahn, Department of Radiological Science, Gachon University, 191 Hambakmoe-ro, Yeonsu-gu, Incheon city, 21936, Republic of Korea / Tel: +82-32-820-4180 / E-mail: sman@gachon.ac.kr

Received 13 September 2023; Revised 25 September 2023; Accepted 11 October 2023

Copyright ©2023 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

이러한 제약들로 인해 임상에서는 진단검사의학과에서 산출하는 GFR과 핵의학과에서 산출하는 GFR을 혼용하여 사용하고 있다. 진단검사의학과에서는 환자의 혈액을 채취하여 혈청 크레아티닌 수치를 측정해 Cockcroft-Gault (CG) 공식이나, Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) 공식 등을 사용하여 GFR을 산출하고 있다[9,10]. 특히 MDRD 공식은 2005년 Isotope Dilution Mass Spectrometry (IDMS) 방법으로 혈청 크레아티닌 수치를 계산하는 수정된 공식이 발표되어 현재까지 GFR 산출에 주로 사용되고 있다[11]. 하지만 MDRD 공식을 이용한 GFR은 아시아인에서 실제보다 다소 높게 측정되는 경향이 있고 GFR이 정상이거나 약간 감소한 때도 정확도가 떨어진다는 단점이 있다[3].

크레아티닌은 토리를 자유롭게 통과한 후 근위세관에서 재흡수는 발생하지 않지만, 분비가 발생하게 되고 콩팥 이외에 장, 피부를 통해 소량 배설되기도 한다. 또한 근육량, 나이, 성별, 섭취한 식품에 의해서도 혈중 농도의 변화가 있어[4,12-14] 이상적인 혈청 표지자의 조건을 완벽히 충족하지는 못하는 실정이다.

한편 핵의학과에서 시행하는 방사성동위원소를 이용한 GFR의 측정 방법은 인체 내에 방사성 의약품을 투여한 후 채취한 소변에 나타나는 방사능의 비율, 혈액이나 조직에서 제거되는 방사능의 비율 또는 콩팥의 섭취 비를 통해 계산하는 방법 등이 알려져 있다[15,16]. GFR 측정을 위해 사용하는 방사성 의약품은  $^{125}\text{I}$ -Iothalamate,  $^{51}\text{Cr}$ -EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid),  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (diethylenetriamine pentaacetic acid) 등이 있는데 취급의 용이함, 적은 피폭선량, 저렴한 가격 등의 장점으로 인해  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA를 주로 사용하고 있다.

이중 혈액을 이용하는 다중채혈 이중 지수 법(Multiple Blood Sampling-Dual Exponential, MBSDE)로 산출한 GFR은 앞서 언급된 이놀린을 이용한 표준검사와 가장 유사한 상관관계를 가지고 있다고 알려졌지만[16-18] 여러 번 채혈해야 하는 검사방법의 특성상 검사 시간이 길고 환자가 불편해하고 측정 방법의 복잡성 등의 어려움으로 인해 많이 사용되고 있지는 않다.

감마카메라를 이용한 GFR의 산출은 주로 Gates법[19]을 이용하고 있다. Gates법의 정확도에 영향을 미치는 인자는 관심 영역의 설정, 배후 방사능 감쇠, 계수통계, 조직에 의한 방출 방사선의 감쇠 및 피부와 콩팥 중심거리 등으로 매우 다양한데[20], 이로 인해 감마카메라를 이용한 GFR 산출이 동위원소를 투여한 후 채취한 소변이나 혈액을 이용하는 방법에 비해 부정확하다고 알려져 있다[17,21].

이러한 단점에도 불구하고 검사방법이 간편하고 재현성이 우수하며 Renogram과 좌, 우 콩팥 각각의 GFR을 동시에 구할 수 있는 장점이 있어 시간에 따른 신장의 기능 평가, 요로 폐쇄, 이식 신장의 정상 활동 여부, 신장성 고혈압, 소변이 배설에 이르기까지의 질환 평가를 위해[22] 임상에서 많이 이용하고 있어 Gates법을 이용한 GFR의 산출 정확도를 높이는 방안은 지속해서 제안되어왔다. 실제 국내에서도 Matrix size, 동위원소의 용량[23], 배후 방사능 설정[24], 콩팥 깊이[20] 등 여러 가지 인자의 설정을 통해 더욱 정확한 GFR 산출 방법을 도출해내기 위한 노력이 활발히 이루어져 왔다. 하지만 검사자의 주관적인 판단에 의존하는 경향이 많은 관심 영역에 대한 논의는 언급된 바가 없었고 병원별로 관심 영역을 설정하기 위한 영상합산 시간의 기준 역시 특별한 기준 없이 제각기 달라 편차가 발생할 소지가 매우 큰 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 Renogram을 기반으로 급속하게 신장의 방사능이 증가하는 시기인 혈관기, 혈액 내의 추적자가 지속해서 신장에서 추출되며 혈액 내의 추적자 농도가 급속하게 감소하는 시기인 분비기, 신장에서의 방사능이 최고점 이후에 감소하는 시기인 배설기로[25] 구분해 영상합산을 시행하여 관심 영역을 설정하여 GFR을 산출해 보고 앞서 언급한 GFR의 표준측정 방법과 가장 유사한 상관관계를 가지고 있다고 알려진 MBSDE를 기준으로 상관관계 및 일치율을 비교, 평가하여 관심 영역 설정에 따른 유효성을 평가하고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상

2019년 6월부터 2023년 6월까지 C 대학병원 핵의학과를 방문한 콩팥이식 공여 환자 중 MBSDE와 감마카메라를 이용한 Gates법을 이용한 GFR 검사를 모두 시행한 33명이다. 성별은 남자 14명(42.42%), 여자 19명(57.58%)이며 연령대는 50대가 12명(36.36%)로 가장 많고 평균연령은  $44.27 \pm 12.03$ 세였다(Table 1).

Table 1. Socio-demographical variables

		N	%	M±SD
Sex	M	14	42.42	
	W	19	57.58	
Age	10s	1	3.03	44.27±12.03

	N	%	M±SD
20s	5	15.15	
30s	3	9.09	
40s	10	30.30	
50s	12	36.36	
60s	2	6.06	
Total	33	100	

2. 검사방법

1) 다중채혈 이중 지수 법(MBSDE)

대상자들에게 검사 30분 전부터 약 1500 ml의 물을 섭취하도록 하였고 한쪽 팔의 전주 정맥에 생리식염수와 3-way stopcock, 23 Gauge scalp needle을 이용하여 방사성 의약품 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 37 MBq (1 mCi)/0.5 ml을 주사하였다. 주사기 내의 모든 방사성동위원소가 투여되도록 생리식염수 10 ml을 추가 주입한 후 주사 시에 사용한 소모품들의 방사능을 다시 측정하여 실제 투여된 방사능의 양을 계산하였다.

표준물질은 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 37 MBq (1 mCi)/1 ml을 1:5000으로 희석하여 준비하였고 준비 후 사용한 소모품들의 방사능을 다시 측정하여 실제 투여된 방사능의 양을 계산하였다.

방사성동위원소를 투여하지 않은 반대편 전주 정맥을 통해 총 4회(주사 후 10분, 30분, 180분, 240분)에 걸쳐 각 5 ml의 혈액을 채취하였고 원심분리기(Centrifuge 5930, KUBOTA, Japan) (Fig. 1)를 이용하여 3,200rpm에서 10분간 원심 분리하여 혈장을 분리하였다.



Fig. 1. Centrifuge 5930 (KUBOTA, Japan)

자동 분주기(Messia DS 8150, Shinjin Medic's Inc, Korea) (Fig. 2)를 이용해 혈장은 시간별로 1 ml \* 1개를 test tube에 분주하였고 표준물질은 1 ml \* 3개를 분주하여 측정을 준비하였다. 1 ml로 분주된 표준물질과 혈장은 Captus 3000 장비(CAPINTEC, USA) (Fig. 3)의 Well count mode를 이용하여

1분간 방사능을 cpm 단위로 측정하였다.



Fig. 2. Messia DS 8150 (Shinjin Medic's Inc, Korea)



Fig. 3. Captus 3000 (CAPINTEC, USA)

채혈된 혈액의 방사능은 <sup>99m</sup>Tc의 반감기를 이용한 표준 붕괴 방정식으로 시간에 따른 혈중 방사능 농도의 감소를 보정하였다. 일반적으로 혈중 방사능 농도는 이중 지수 곡선(Double exponential)을 따른다고 알려져[26] 채혈된 시간별(주사 후 10분, 30분, 180분, 240분) 각각 보정된 혈장 방사능(Y, Y축)과 시간(t, min, X축)의 Data를 이용하여 이중 지수 곡선을 작성하고 Sapirstein 등이 제시한 이중지수공식(Eq. 1)[16]을 대입하여 비선형 곡선 적용(Non-linear curve fitting)을 통해 상수 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>를 산출하였다(Fig. 4).

$$Y = a_1 * e^{-b_1 t} + a_2 * e^{-b_2 t} \tag{Eq. 1}$$

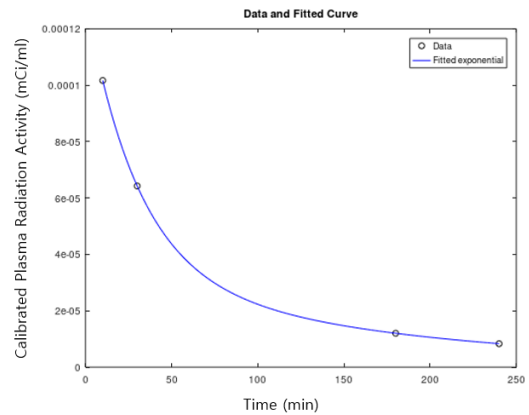


Fig. 4. Double exponential curve of MBSDE

산출된 상수  $a_1, a_2, b_1, b_2$ 를 주사된 방사성 의약품의 용량(Injection Dose, ID, mCi)와 함께 Eq. 2에 대입하여 최종적으로 GFR을 산출하였다.

$$GFR = (ID * b_1 * b_2) / (a_1 b_2 + a_2 b_1) \quad (\text{Eq. 2})$$

## 2) 감마카메라를 이용한 Gates법

### (1) 영상획득

환자에게 투여되는 방사능의 정확한 양을 측정하기 위해  $^{99m}\text{Tc-DTPA}$  111 MBq (3 mCi)가 들어있는 주사기의 방사능을 저에너지 고해상도 콜리메이터(Low Energy High Resolution, LEHR)로부터 30 cm 떨어진 곳에서 1분간 측정하였고 검사가 종료된 후 같은 방법으로 1분간 측정하였다.

LEHR 콜리메이터를 장착한 Symbia Evo Excel (Siemens, Germany) (Fig. 5) 감마카메라에서 양와위 자세를 취하고 앞서 측정한 방사성 의약품을 전주 정맥으로 순간 주사하여 후면 영상을 획득하였다. 영상획득 시 설정한 Parameter는 다음과 같다(Table 2).

영상획득 시의 Phase는 Renogram을 기반으로 설정하였으며 혈관기(제1상), 분비기(제2상), 배설기(제3상)로 구성하였다(Fig. 6).



Fig. 5. Symbia Evo Excel (Siemens, Germany)

Table 2. Parameters of Glomerular Filtration Rate study using gamma camera (Gates method)

Parameter	Value
Matrix size	64 * 64
Zoom factor	1.23
Energy level	140 keV ± 10%
Image acquisition	Phase 1 1 sec * 60 frame ( 1 min) → Gates-1 Phase 2 5 sec * 24 frame ( 2 min) → Gates-2 Phase 3 30 sec * 48 frame (24 min) → Gates-3 (Total 27 min)

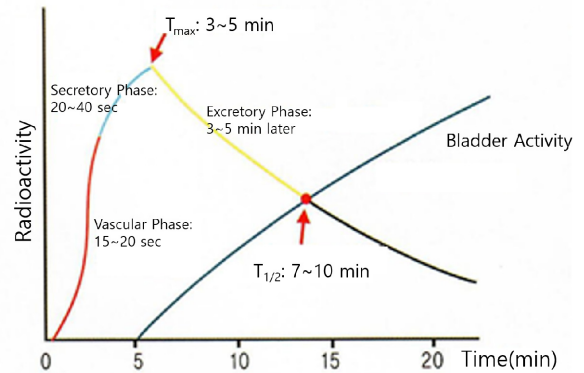


Fig. 6. Renogram[27]

### (2) 영상분석

Syngo MI Applications VB21B (Siemens, Germany)를 사용하여 획득된 동적 콩팥 검사의 영상분석을 시행하였다.

환자의 콩팥 깊이는 검사 전 환자의 키, 몸무게를 측정하여 Taylor 방정식을[28] 이용해 콩팥 깊이를 계산하여 적용하였다(Table 3).

Table 3. Kidney depth calculation formula (Taylor equation)

Kidney depth (cm)	Calculation formula
Right kidney	$15.13 * (\text{Weight}/\text{Height}) + 0.022 * \text{Age} + 0.077$
Left kidney	$16.17 * (\text{Weight}/\text{Height}) + 0.027 * \text{Age} - 0.940$

양측 콩팥의 관심 영역을 설정을 위한 연속적인 콩팥 영상은 영상획득 시간의 Phase 별로 구분하여 혈관기는 Gates-1, 분비기는 Gates-2, 배설기는 Gates-3로 명명하였다. 각 Phase 별 육안상 구분되는 콩팥의 형태대로 관심 영역을 설정하였고 배후 방사능 영역은 콩팥의 바깥쪽 하방에 설정하였다(Fig. 7). Split function을 2~3분으로 적용하여 Eq. 3과 같은 Gates 공식[19]에 대입하여 Phase 별 GFR을 측정하고 동시에 콩팥 기능 곡선도 획득하였다.

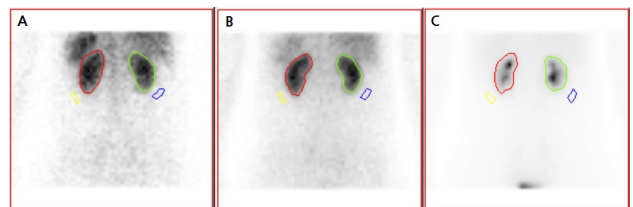


Fig. 7. Region of Interest in Gates-1 (A), Gates-2 (B) and Gates-3 (C)

$$GFR = \left[ \frac{\frac{C_{RK} - C_{RBkg}}{e^{-\mu x}} + \frac{C_{LK} - C_{LBkg}}{e^{-\mu x}}}{C_{preinj} - C_{postinj}} * 100 \right] (9.81270) - (6.82519) \quad (\text{Eq. 3})$$

- $C_{RK}$ : 우측 콩팥 관심 영역 카운트
- $C_{LK}$ : 좌측 콩팥 관심 영역 카운트
- $C_{RBkg}$ : 우측 콩팥 배후영역 카운트
- $C_{LBkg}$ : 좌측 콩팥 배후영역 카운트
- $C_{preinj}$ : 주사 전 주사기 카운트
- $C_{postinj}$ : 주사 후 주사기 카운트
- $\mu$ : 연부조직의 감쇄 계수(0.153)
- $\chi$ : 예측한 콩팥 중심과 등 쪽 피부까지의 수직거리

(3) 통계 분석

자료 분석은 SPSS 통계프로그램(Ver. 21.0 for windows: SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 수행하였다. Gates-1, Gates-2, Gates-3의 자료는 정규성이 검증되어 평균과 95% 신뢰구간을 비교하기 위해 ANOVA 분석을 하였다. 또한 ANOVA 분석에서 통계적 유의성이 나타날 때는 Bonferroni's method를 이용하여 사후검정을 시행하기로 하였다. MBSDE를 기준으로 Gates-1, Gates-2, Gates-3와의 통계 분석 방법도 자료의 정규성이 검증되어 Paired t-test를 이용하여 통계 분석하였으며 모든 분석에서  $p$ -value는 0.05 미만이면 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판정하였다.

### III. 결과

1. Gates-1, Gates-2, Gates-3 세 개 군의 평균 비교

ANOVA 분석 결과 Phase 별 GFR의 평균 비교는 Table 4와 같이 Gates-1, Gates-3, Gates-2 순으로 높게 나타났

**Table 4.** GFR according to Phase (N=33)

	Phase (Mean ± Std. Deviation)			F	P
	Gates-1	Gates-2	Gates-3		
GFR (mL/min)	134.32 ± 28.46	126.52 ± 26.37	128.44 ± 26.65	0.738	0.181

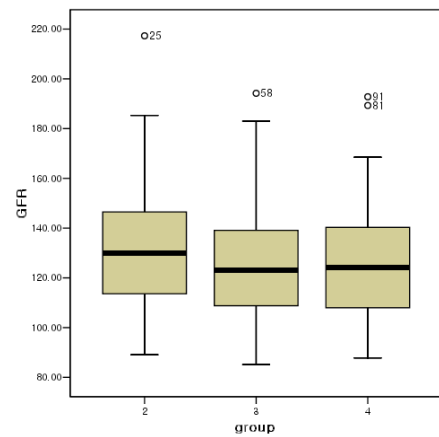
**Table 5.** 95% Confidence according to GFR of phase (N=33)

	N	Phase	95% Confidence Interval	
			Min.	Max.
GFR (mL/min)	33	Gates-1	124.23	144.41
		Gates-2	117.17	135.86
		Gates-3	118.99	137.89

다. 세군 간의 통계적 유의확률은  $p$ -value 0.481 ( $p > 0.05$ )로 유의한 차이가 없는 것으로 나타나 통계적으로 유의성이 없어 사후검정은 시행하지 않았다.

2. Gates-1, Gates-2, Gates-3 세 개 군의 95% 신뢰구간 비교

세군의 평균값을 정확하게 비교하기 위해 95% 신뢰구간을 확인하였다(Table 5) (Fig. 8). GFR의 95% 신뢰구간을 보면 겹친 부분이 많이 존재하여 평균값의 차이가 뚜렷하지 않다고 할 수 있다.



**Fig. 8.** Comparison of 95% confidence according to GFR of phase (N=33)

3. MBSDE와 Gates-1, Gates-2, Gates-3의 paired t-test 결과

MBSDE와 Gates-1 유의확률은  $p$ -value 0.021 ( $p < 0.05$ )로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고 Gates-2의 차이는  $p$ -value 0.280 ( $p > 0.05$ ), Gates-3의 차이는  $p$ -value

**Table 6.** GFR paired t-test (MBSDE and Gates)

	Paired Difference			t	df	Sig (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean			
MBSDE & Gates-1	-13.81	32.71	5.69	-2.42	32	0,021
MBSDE & Gates-2	-6.00	31.35	5.46	-1.10	32	0,280
MBSDE & Gates-3	-7.93	31.96	5.56	-1.43	32	0,164

0,164 ( $p>0.05$ )로 MBSDE는 Gates-1과 유의한 차이가 있지만, 나머지 Gates-2와 Gates-3와는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 6).

또한 모든 비교분석 결과의 평균 차이가 모두 음수를 나타내어 Gates법이 MBSDE보다 과대 평가되어있고 Gates-1, Gates-3, Gates-2, MBSDE 순으로 GFR이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

#### IV. 고 찰

GFR은 콩팥과 관련된 진단 평가, 치료 및 추적 관찰 등의 콩팥 기능을 확인할 수 있는 대표적인 지표로 정확한 측정 방법에 관한 많은 연구가 있었고 여러 가지 측정 방법들을 사용하고 있다[1,2].

GFR을 산출하는 표준 방법은 이눌린을 지속해서 투입하여 측정하는 방법이지만 임상에서는 시간 및 비용, 검사과정의 복잡성 등으로 인해 제한점이 많아[4-8] CG 공식[9], MDRD 공식[10] 등의 혈청 크레아티닌을 기반으로 산출하는 방식을 주로 사용하고 있다. 하지만 이 방법도 크레아티닌이 이상적인 혈청 표지자의 조건을 충족하지 못하고 환자의 상태에 따라 정확도가 떨어진다는 단점이 있다[3,4,12-14].

방사성동위원소를 이용한 GFR의 측정 방법은 방사성동위원소를 인체 내에 투여한 후 획득한 소변과 혈액을 이용한 방법과 감마카메라를 이용한 검사방법이 알려져 있다. 그중 혈액을 이용한 MBSDE은 앞서 언급된 GFR의 표준 방법과 가장 큰 상관관계[16-18]가 있다고 알려졌지만, 측정 방법의 복잡성, 불편하고 긴 시간이 소요되는 검사방법 등으로 인해 많이 사용되고 있지는 않은 현실이다.

감마카메라를 이용한 방법은 검사방법이 간편하고 양측 콩팥 각각의 GFR과 Renogram을 동시에 획득할 수 있는 장점이 있지만 앞서 언급한 바와 같이 소변이나 혈액을 이용한 검사보다 정확도가 떨어진다고 알려져 있다[17,21]. 따라서 감마카메라를 이용한 GFR을 더 정확하게 산출하기 위해 여러 가지 인자들을 선택 적용하여야 하는데 본 연구에서는 정확도를 좌우하는 여러 인자 중 관심 영역의 설정에 따른

GFR의 변화를 표준검사와 가장 유사한 상관관계가 있다고 알려진 MBSDE를 기준으로 알아보려 하였다.

감마카메라를 이용한 GFR 측정 시 콩팥 실질의 방사능만을 검출하는 것이 이상적이지만 이는 불가능하므로 콩팥의 관심 영역과 배후영역을 적절하게 설정하여 수학적으로 소거하여야 한다[29]. Gates 방법을 이용해 GFR을 측정할 때는 일반적으로 주사 후 2~3분 사이 1분 동안의 콩팥 섭취율을 구하게 되는데[19] 실제 GFR을 구하는 영상 재구성 프로그램에도 Split function을 2~3분으로 설정할 수 있게 되어 있다.

GFR을 측정 시 필요한 최소한의 검사 시간은 6분 정도이지만[19,30-32] 각 병원의 사정 및 필요에 따라 영상획득의 프로토콜과 재구성 방법이 상이하게 설정된 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 주사 후 어느 시간을 기준으로 관심 영역을 설정하는 것이 더욱 나은 결과를 산출할 수 있는지 확인하였고 그 결과 Gates-2 영역에서 표준검사와 가장 유사한 결과를 산출할 수 있음을 알 수 있었다. Gates-1, 2, 3 사이의 결과는 통계적으로 유의한 차이는 없었으나( $p=0.481>0.05$ ) 평균을 비교하였을 때 Gates법이 MBSDE보다 전반적으로 과대 평가된 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 MBSDE와 Gates법 Phase 별 비교 결과는 유일하게 Gates-1 ( $p=0.021<0.05$ )이 유의한 차이를 나타내었고 이는 콩팥 겉질(Kidney cortex)에 분포된 방사성동위원소의 영향으로 콩팥이 육안상 가장 크게 나타나 관심 영역이 가장 크게 설정되었고 이로 인해 GFR이 가장 높게 산출되어 MBSDE와 유의한 결과를 나타낸 것으로 생각한다.

본 연구를 통해 감마카메라를 이용한 GFR의 측정 시 Gates법으로 산출하였을 때 관심 영역을 설정하는 영상의 구간을 실제 콩팥의 방사능이 계산되는 2~3분을 중심으로 설정하는 것이 정확한 GFR의 산출에 도움이 된다는 것을 확인할 수 있었으나 같은 범위의 영상에서도 시행자에 따라 관심 영역의 크기가 변할 수 있다는 점에 대한 한계는 존재하였고 연구대상이 정상적인 콩팥 기능을 가진 콩팥이식 공여자로 한정되어 있어 추후 여러 콩팥 질환을 지닌 사람들에게도 적용하여 적절한 범위를 확인해야 할 것으로 생각한다.

또한 Renogram을 기준으로 시간 범위를 설정하여



Gates-3은 다른 영역에 비해 매우 넓은 시간 범위가 설정 되었으므로 더욱 정확한 평가를 위해서는 시간을 세분화하여 확인하는 연구도 추가로 필요할 것으로 생각된다. GFR의 정확성을 좌우하는 인자가 매우 다양한데 본 연구에서는 각기 다른 인자들의 상관관계 역시 배제된 상태이므로 여러 인자를 동시에 적용해 연구를 시행한다면 최적의 조합을 찾아 GFR의 정확도를 향상할 방안이 될 수 있을 것으로 생각된다. 이를 통해 병원별로 각각 다른 영상획득 및 재구성 프로토콜에 대한 표준화가 이루어진다면 정확한 GFR을 산출하는 데 도움이 될 것으로 생각한다.

## V. 결론

본 연구에서는 Gates법을 이용한 GFR 검사에서 관심 영역을 설정에 따른 유효성을 MBSDE와 비교하여 알아보았다. Gates-1, 2, 3의 GFR은 통계적으로 유의한 차이는 없음을 확인하였다. 하지만 MBSDE와의 관계에서는 Gates-2, 3 영역에서 유의한 차이가 없었지만 Gates-2 영역에서 가장 유사한 결과를 산출할 수 있음을 알 수 있었고 Gates-1은 통계적으로 유의한 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과를 토대로 GFR의 정확도에 영향을 미치는 여러 가지 인자들의 상관관계에 관한 추가적인 연구를 시행한다면 더욱 정확한 GFR을 측정하는 데 도움이 될 것으로 생각한다.

## REFERENCES

- [1] Rule AD, Gussak HM, Pond GR, Bergstralh EJ, Stegall MD, Cosio FG, et al. Measured and estimated GFR in healthy potential kidney donors. *Am J Kidney Dis*. 2004;43(1):112-9. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2003.09.026>
- [2] Bianchi C, Donadio C, Tramonti G. Noninvasive methods for the measurement of total renal function. *Nephron*. 1981;28(2):53-7. DOI: <https://doi.org/10.1159/000182104>
- [3] Lee CH. Estimation of GFR. *Korean J Med*. 2012; 83(4):455-7. DOI: <https://doi.org/10.3904/kjm.2012.83.4.455>
- [4] Lee NM, Lim IS. Comparison of various methods of glomerular filtration rate measurements in children. *Korean J Pediatr*. 2009;52(9):999-1004. DOI: <http://doi.org/10.3345/kjp.2009.52.9.999>
- [5] Barbour GL, Crumb CK, Boyd CM, Reeves RD, Rastogi SP, Patterson RM. Comparison of inulin, iothalamate and <sup>99m</sup>Tc-DTPA for measurement of glomerular filtration rate. *J Nucl Med*. 1976;17(4): 317-20. Retrieved from <https://jnm.snmjournals.org/content/17/4/317>
- [6] Price M. Comparison of creatinine clearance to inulin clearance in the determination of glomerular filtration rate. *J Urol*. 1972;107(3):339-40. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(17\)61021-8](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(17)61021-8)
- [7] Sigman EM, Elwood C, Readan ME, Morris AM, Catanzaro A. The renal clearance of I-131 labelled sodium iothalamate in man. *Invest Urol*. 1965;2: 432-8. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14261783>
- [8] Cohen ML, Smith FG, Mindell RS, Vernier RL. A simple reliable method of measuring glomerular filtration rate using single low dose sodium iothalamate I-131. *Pediatrics*. 1969;43(3):407-15. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.43.3.407>
- [9] Cockcroft DW, Gault H. Prediction of creatinine clearance from serum creatinine. *Nephron*. 1976; 16(1):31-41. DOI: <https://doi.org/10.1159/000180580>
- [10] Levey AS, Bosch JP, Lewis JB, Greene T, Rogers N, Roth D. A more accurate method to estimate glomerular filtration rate from serum creatinine: A new prediction equation. Modification of Diet in Renal Disease Study Group. *Ann Intern Med*. 1999; 130(6):461-70. DOI: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-130-6-199903160-00002>
- [11] Myers GL, Miller WG, Coresh J, Fleming J, Greenberg N, Greene T, et al. Recommendations for improving serum creatinine measurement: A report from the laboratory working group of the national kidney disease education program. *Clin Chem*. 2006;52(1):5-18. DOI: <https://doi.org/10.1373/clinchem.2005.0525144>
- [12] Chang YS. Methods for glomerular filtration rate measurement. *Korean J Nephrol*. 2006;25(4):521-4. Retrieved from <https://www.krccp-ksn.org/journal/view.php?number=5279>

- [13] Han KH, Han SY, Kang YS, Cha DR. Serum cystatin C concentration compared with serum creatinine concentration as a marker of glomerular filtration rate. *Korean J Nephrol*. 2006;25(5):737–44. Retrieved from <https://www.krccp-ksn.org/journal/view.php?number=5260>
- [14] Stevens LA, Coresh J, Greene T, Levey AS. Assessing kidney function—measured and estimated glomerular filtration rate. *N Engl J Med*. 2006;354(23):2473–83. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMra054415>
- [15] Jones JD, Burnett PC. Creatinine metabolism in humans with decreased renal function: Creatinine deficit. *Clin Chem*. 1974;20(9):1204–12. DOI: <https://doi.org/10.1093/clinchem/20.9.1204>
- [16] Ell PJ, Gambhir SS. *Nuclear medicine in clinical diagnosis and treatment*. 3rd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2004:1537–45.
- [17] 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(7):1211–9. Retrieved from <https://jnm.snmjournals.org/content/31/7/1211>
- [18] Balachandran S, Toguri AG, Petresick TW, Abbott LC. Comparative evaluation of quantitative glomerular filtration rate measured by isotopic and nonisotopic methods. *Clin Nucl Med*. 1981;6(4):150–3. DOI: <https://doi.org/10.1097/00003072-198104000-00003>
- [19] Gates GF. Glomerular filtration rate: Estimation from fractional renal accumulation of 99mTc-DTPA (stannous). *AJR Am J Roentgenol*. 1982;138(3):565–70. DOI: <https://doi.org/10.2214/ajr.138.3.565>
- [20] Yoo IR, Kim SH, Chung YA, Jung SH, Lee HG, Park YH, et al. Development of formulas for the estimation of renal depth and application in the measurement of glomerular filtration rate in Koreans. *Nucl Med Mol Imaging*. 2000;34(5):418–25. Retrieved from <https://www.ksnm.or.kr/journal/view.php?year=2000&vol=34&no=5&startpage=418>
- [21] Chachati A, Meyers A, Godon JP, Rigo P. Rapid method for the measurement of differential renal function: Validation. *J Nucl Med*. 1987;28(5):829–36. Retrieved from <https://jnm.snmjournals.org/content/28/5/829>
- [22] Park HH, Lee JY, Kim SW, Lyu KY, Jin GH. Development of dynamic kidney phantom system and its evaluation of usability of application in nuclear medicine. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2013;36(1):49–55. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO201316856689264.page>
- [23] Kim H, Do YH, Kim JI, Choi HJ, Woo JR, Bak CR, et al. Comparison of activity capacity change and GFR value change according to matrix size during 99mTc-DTPA renal dynamic scan. *J Nucl Med Technol*. 2020;24(1):27–32. Retrieved from [https://ocean.kisti.re.kr/IS\\_mvpopo301V.do](https://ocean.kisti.re.kr/IS_mvpopo301V.do)
- [24] Jung HS, Chung YA, Kim SH, Kim CH, Lee SY, Sohn HS, et al. GFRs measured by Gates' method according to 5 background sites: Comparison with GFR measured by I-125-Iothalamate method. *Nucl Med Mol Imaging*. 2004;38(4):306–10. Retrieved from <https://www.ksnm.or.kr/eng/pub/view.php?year=2004&vol=38&no=4&startpage=306>
- [25] Lee EB, Lee WH, Ahn SM. Utility evaluation on application of geometric mean depending on depth of kidney in split renal function test using 99mTc-MAG3. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2016;39(2):199–208. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2016.39.2.10>
- [26] Chung JK, Lee MC. *Koh's nuclear medicine*. 3rd ed. Seoul: Korea Medical Book Publishing Company; 2008:639.
- [27] Kang YG, Kang YH, Gwon SM, Kim GJ, Kim GJ, Kim GG, et al. *Textbook of Nuclear Medicine*. 1st ed. Seoul: Chung-Ku Publisher; 2013:510.
- [28] 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(10):1766–9. Retrieved from <https://jnm.snmjournals.org/content/34/10/1766>
- [29] O'Reilly PH, Shields RA, Testa HJ. *Nuclear medicine in urology and nephrology*. 2nd ed. London: Butterworth; 1986:247–70.
- [30] Schlegel JU, Halikiopoulos HL, Prima R. Determination



- of filtration fraction using the gamma scintillation camera, *J Urol*. 1979;122(4):447-50. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(17\)56457-5](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(17)56457-5)
- [31] Gates GF. Computation of glomerular filtration rate with Tc-99m DTPA: An in-house computer program, *J Nucl Med*, 1984;25(5):613-8. Retrieved from <https://jnm.snmjournals.org/content/25/5/613>
- [32] Schlegel JU, Hamway SA. Individual renal plasma flow determination in 2 minutes. *J Urol*. 1976; 116(3):282-5. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(17\)58783-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(17)58783-2)

구분	성명	소속	직위
제1저자	박수영	가톨릭대학교 은평성모병원 핵의학과	방사선사
교신저자	안성민	가천대학교 방사선학과	교수