



---

**Interpretation of diagnostic test**

---

## 추정 사구체여과율의 해석

<sup>1</sup>부산대학교 의과대학 부산대학교병원 신장내과, <sup>2</sup>부산대학교 의과대학 부산대학교병원 의생명연구원

김다운<sup>1,2</sup> · 이하린<sup>1,2</sup>

### **Interpretation of Estimated Glomerular Filtration Rate**

Da Woon Kim<sup>1,2</sup> and Harin Rhee<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Division of Nephrology, Department of Internal Medicine, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine, Busan;* <sup>2</sup>*Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine, Busan, Korea*

Glomerular filtration rate (GFR) plays an important role in the clinical evaluation of renal function, classification, prognosis prediction, and drug dosing in patients with acute or chronic kidney disease. Estimated GFR (eGFR) is calculated based on endogenous filtration markers, such as creatinine and cystatin C. These are useful markers, but it is necessary to understand the clinical settings in which eGFR, calculated using creatinine or cystatin C, may be less accurate. Several equations, including the Cockcroft and Gault, modification of diet in renal disease, and chronic kidney disease-epidemiology collaboration (CKD-EPI) equations, are used to calculate eGFR. The latter is most common because it has high accuracy and can predict prognosis. Recently, a new race-omitting CKD-EPI equation has been developed but further studies are required to determine whether it can be applied in clinical practice and research. Furthermore, careful use of eGFR is needed in acute kidney injury, kidney transplantation, and dialysis patients. Drug dosing must be guided by accurate GFR assessment. In addition to medical care, GFR assessment is also important for public health and research. Therefore, further studies are needed to reevaluate and develop the equations for accurate eGFR calculations. (Korean J Med 2023;98:45-51)

---

**Keywords:** Glomerular filtration rate; Creatinine; Cystatin C

---

Received: 2022. 12. 25

Revised: 2023. 1. 16

Accepted: 2023. 1. 19

Correspondence to Harin Rhee, M.D., Ph.D.

Division of Nephrology, Department of Internal Medicine, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine, 179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 49241, Korea

Tel: +82-51-240-7225, Fax: +82-51-240-7989, E-mail: rheeharin@pusan.ac.kr

Copyright © 2023 The Korean Association of Internal Medicine

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

사구체여과율 검사는 임상에서 신장 기능의 평가, 급성 및 만성 신부전 환자에서 단계 설정, 예후 예측 및 약물 조절에 있어 매우 중요한 역할을 하고 있다. 사구체여과율은 직접 측정은 어려우며 혈장의 내인성 또는 외인성 표지자가 신장에서 청소되는 비율(renal clearance)을 측정하거나(측정 사구체여과율, measured glomerular filtration rate) 추정하여(추정 사구체여과율, estimated glomerular filtration rate) 확인할 수 있다. 측정 사구체여과율은 신장에서만 여과되면서 신장에 의해 분비되거나 재흡수되지 않고 단백질에 결합하지 않는 외부의 물질이 청소되는 비율을 측정하는 방법을 사용하며, 가장 대표적인 방법은 연속적으로 inulin을 주입하면서 소변을 모으는 것이다. 이 외에도 chromium 51-labeled ethylenediaminetetraacetic acid (<sup>51</sup>Cr-EDTA), diethylenetriaminepentaacetic acid, iohexol, iothalamate 등의 물질을 활용한다. 그러나 측정 사구체여과율을 구하는 것은 임상에서 적용하는 데 제한점이 있어, 현재는 혈청 크레아티닌(creatinine), 시스타틴(cystatin) C를 활용한 추정 사구체여과율을 임상에서 널리 활용하고 있다[1]. 본고는 내인성 신장 여과 표지자인 크레아티닌, 시스타틴 C 및 추정 사구체여과율의 여러 공식들을 검토하고, 최근 인종을 제외한 추정 사구체여과율 공식의 정확도를 확인한 연구를 간략하게 소개하고자 한다.

## 본 론

### 내인성 신장 여과 표지자

#### 혈청 크레아티닌

크레아티닌은 크레아틴(creatine)과 크레아틴 인산의 대사 과정으로, 혹은 식이 단백질 섭취로 생성된다. 크레아티닌은 저분자 물질이며 알부민에 부착되지 않으므로, 사구체 수준에서 자유롭게 여과되고, 재흡수는 일어나지 않으나 세관에서 일부 분비가 일어난다. 크레아티닌은 간, 췌장, 신장에서 비교적 일정한 속도로 생성되고, 대부분의 크레아틴이 근육 조직 내에 있으므로 사구체여과율, 세관에서의 크레아티닌 분비, 근육량, 식이 섭취 등이 일정하다면 혈청 크레아티닌 수치로 사구체여과율을 추정할 수 있다. 그러나 크레아티닌 대사 과정의 복잡성 때문에 혈청 크레아티닌 수치는 크레아티닌의 생성(근육량, 식이), 세관 배설 정도(약물, 급성 신부전 여부), 간 기능

등에 영향을 받을 수 있다. 따라서 크레아티닌을 활용한 사구체여과율 추정 시, 임상적은 이러한 제한점을 숙지하여 추정 사구체여과율을 해석해야 한다. 혈청 크레아티닌 수치는 근육량이 감소한 환자(고령, 만성 간부전, 암 등)에서 사구체여과율을 과대평가할 수 있고, 근육양이 많거나(운동선수, 보디빌더 등) 요리된 붉은 고기를 많이 섭취한 환자에서 사구체여과율을 과소평가할 수 있다. 또한, 급성 신손상 시 사구체여과율은 급격히 감소하지만 혈청 크레아티닌이 축적되기까지는 시간이 소요되므로 혈청 크레아티닌 수치로 사구체여과율을 추정하는 데 제한이 있다. 급성 신손상이 흔히 동반되는 중환자에서는 크레아티닌의 생성에 변화가 생기고, 중환자에서 흔히 시행되는 대량 수액 투여 및 여러 약물 등이 혈청 크레아티닌 농도에 영향을 줄 수 있다[2].

현재 활용 가능한 혈청 크레아티닌 측정법에는 alkaline picrate 측정법(Jaffe assay)과 효소 측정법(enzymatic assay)이 있다. 일반적으로 효소 측정법이 Jaffe 측정법에 비해 여러 물질에 의한 방해가 적어 분석의 정확도 및 정밀도가 더 높으나 비용이 많이 든다[3]. 이러한 측정법의 다양성 및 측정법에 따른 값 변동으로 인해 특히 혈청 크레아티닌 농도가 낮은 경우 사구체여과율을 과대평가할 수 있어 크레아티닌 측정법 표준화의 중요성이 대두되었다[4]. 따라서 2006년 National Kidney Disease Education Program은 크레아티닌 측정법 표준화 프로그램을 시작하였고, 혈청 크레아티닌 측정법이 동위원소 희석 질량 분석(isotope-dilution mass spectrometry, IDMS)으로 추적 가능하도록(IDMS-traceable) 재보정(calibration)할 것을 권고하였다[5]. 2012년 Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) 진료 지침 역시 혈청 크레아티닌 측정 시 국제 표준 기준 물질로 추적 가능한 교정을 거쳐 IDMS 기준 크레아티닌 값과 비교하여 최소 편향이 된 방법을 사용할 것을 권고하고 있고(권고수준, 1B) [6], 효소 측정법이 이상적이겠으나, Jaffe 측정법을 사용한다면 최소한 IDMS 보정(IDMS-traceable Jaffe method)을 거칠 것을 강조하고 있다. 지난 수십 년간 기술적 발전으로 인해 Jaffe 측정법의 정확도가 상승하였지만, 2017년 발표된 논문에서 IDMS-traceable Jaffe 측정법과 효소 측정법을 비교하였을 시 두 방법 모두 분석 능력 요구도를 충족하나 혈청 크레아티닌 농도가 낮은 경우에는 효소 측정법의 정확도가 더 높음을 보고하였다[7].

### 혈청 시스타틴 C

시스타틴 C는 내인성 시스테인(cysteine) 단백질 분해 효소 억제제로 체내 유액 세포에서 일정한 속도로 생성되며, 사구체 수준에서 자유롭게 여과되고, 재흡수되거나 세관에 의해 분비되지 않는다. 시스타틴 C는 연령, 성별, 체중, 근육량 등에 의해 영향을 받지 않는 것으로 생각되었으나 체지방량, 내분비 기능의 변화(갑상선기능항진증 또는 저하증, 당뇨병 등), C-반응단백(C-reactive protein, CRP), 흡연 등이 시스타틴 C 농도에 영향을 미치는 것으로 보고되었다[8-10]. 혈청 시스타틴 C는 크레아티닌에 비해 사구체여과율을 더 정확하게 추정하고, 특히 급성 신손상을 1-2일 더 일찍 감지할 수 있다[11]. 또한 앞서 기술한 크레아티닌 생성에 영향을 받는 환자에서 사구체여과율을 보다 정확하게 추정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 측정에 시간이 많이 소요되므로 모든 기관에서 널리 이용하는 것에는 제한이 있다.

### 추정 사구체여과율 공식

추정 사구체여과율 공식은 사구체여과율 외 혈청 크레아티닌, 시스타틴 C 농도에 영향을 미치는 변수들인 연령, 성별, 인종, 체중 등의 변수들로 조합되어 있으며, 현재까지 개발 및 검증된 사구체여과율 추정 공식에는 Cockcroft and

Gault 공식, modification of diet in renal disease (MDRD) 공식, chronic kidney disease-epidemiology collaboration (CKD-EPI) 공식 등이 있다(Table 1).

### Cockcroft and Gault 공식

Cockcroft and Gault 공식은 236명, 평균 연령 57세의 안정된 상태의 백인 남자에게서 도출된 공식으로 당뇨병이나 신장 이식 환자는 포함되지 않았다[12]. 연령 및 체중에 따른 크레아티닌의 차이를 고려하여 공식이 도출되었으나, 체중과 근육량이 비례하지 않으므로 과체중, 비만 환자에서 사구체여과율을 과대평가할 수 있다. 또한 현재 사용되는 표준화된 크레아티닌 측정법을 이용하기 전의 크레아티닌 측정법에서 도출되었기 때문에, 표준화된 크레아티닌을 적용 시 사구체여과율을 과대평가할 수 있다. MDRD와 비교 시 Cockcroft and Gault 공식은 정상 혈청 크레아티닌을 가진 환자에서 사구체여과율을 정확하게 추정 가능하나, 65세 이상의 노인 환자 및 기타 기저 질환을 가진 환자에서는 정확도가 더 낮다 [13].

**Table 1. Equations for calculating estimated glomerular filtration rate**

Name	Equation for estimating glomerular filtration rate
Cockcroft-Gault [12]	$CCr \text{ (mL/min)} = (140 - \text{Age}) \times \text{Weight (kg)} / 72 \times \text{Scr (mg/dL)} \text{ (female} \times 0.85)$
MDRD [15] <sup>a</sup>	$eGFR \text{ (mL/min/1.73 m}^2) = 175 \times (S_{Cr})^{-1.154} \times (\text{Age})^{-0.203} \text{ (female} \times 0.742) \text{ (black} \times 1.212)$
CKD-EPI <sub>Cr</sub> [34] <sup>b</sup>	$eGFR_{Cr} \text{ (mL/min/1.73 m}^2) = 142 \times \min(S_{Cr}/\kappa, 1)^\alpha \times \max(S_{Cr}/\kappa, 1)^{-1.200} \times 0.9938^{\text{Age}} \text{ (female} \times 1.012)$
CKD-EPI <sub>cys</sub> [26] <sup>c</sup>	$eGFR_{cys} \text{ (mL/min/1.73 m}^2) = 133 \times \min(S_{cys}/0.8, 1)^{-0.499} \times \max(S_{cys}/0.8, 1)^{-1.328} \times 0.996^{\text{Age}} \text{ (female} \times 0.932)$
CKD-EPI <sub>Cr-cys</sub> (2012) [26] <sup>d</sup>	$eGFR_{Cr-cys} \text{ (mL/min/1.73 m}^2) = 135 \times \min(S_{Cr}/\kappa, 1)^\alpha \times \max(S_{Cr}/\kappa, 1)^{-0.601} \times \min(S_{cys}/0.8, 1)^{-0.375} \times \max(S_{cys}/0.8, 1)^{-0.711} \times 0.995^{\text{Age}} \text{ (female} \times 0.961) \text{ (black} \times 1.08)$
CKD-EPI <sub>Cr-cys</sub> (2022) [34] <sup>e</sup>	$eGFR_{Cr-cys} \text{ (mL/min/1.73 m}^2) = 135 \times \min(S_{Cr}/\kappa, 1)^\alpha \times \max(S_{Cr}/\kappa, 1)^{-0.544} \times \min(S_{cys}/0.8, 1)^{-0.323} \times \max(S_{cys}/0.8, 1)^{-0.778} \times 0.9961^{\text{Age}} \text{ (female} \times 0.963)$

CCr, creatinine clearance; S<sub>Cr</sub>, serum creatinine; MDRD, modification of diet in renal disease; eGFR, estimated glomerular filtration rate; CKD-EPI; chronic kidney disease-epidemiology collaboration; S<sub>cys</sub>, serum cystatin C.

<sup>a</sup>Standardized serum creatinine (mg/dL) and age (years) are used.

<sup>b</sup>Standardized serum creatinine (mg/dL) and age (years) are used.  $\kappa=0.7$  (female) or 0.9 (male),  $\alpha=-0.241$  (female) or -0.302 (male), min (Scr/ $\kappa$ , 1) is the minimum of Scr/ $\kappa$  or 1.0 and max (Scr/ $\kappa$ , 1) is the maximum of Scr/ $\kappa$  or 1.0.

<sup>c</sup>Standardized serum cystatin C (mg/L) and age (years) are used. min is the minimum of Scys/0.8 or 1 and max is the maximum of Scys/0.8 or 1.

<sup>d</sup>Standardized serum creatinine (mg/dL) and age (years) are used.  $\kappa=0.7$  (female) or 0.9 (male),  $\alpha=-0.248$  (female) or -0.207 (male), min (Scr/ $\kappa$ , 1) is the minimum of Scr/ $\kappa$  or 1.0 and max (Scr/ $\kappa$ , 1) is the maximum of Scr/ $\kappa$  or 1.0.

<sup>e</sup>Standardized serum creatinine (mg/dL), standardized serum cystatin C (mg/L) and age (years) are used.  $\kappa=0.7$  (females) or 0.9 (males),  $\alpha=-0.219$  (female) or -0.144 (male), min (Scr/ $\kappa$ , 1) is the minimum of Scr/ $\kappa$  or 1.0 and max (Scr/ $\kappa$ , 1) is the maximum of Scr/ $\kappa$  or 1.0.

## MDRD 공식

MDRD 공식은 1,628명, 평균 연령 50세의 만성 신부전을 진단받은 환자(백인 88%)에서  $^{125}\text{I}$ -Iothalamate의 신장 여과를 토대로 한 측정 사구체여과율을 추정하여 도출되었으며, 당뇨병이나 신장 이식 환자는 포함되지 않았다[14]. 앞서 기술한 대로 크레아티닌 측정법의 다양성으로 인해 MDRD 공식으로 추정된 사구체여과율은 크레아티닌 수치가 높거나 비만한 환자에서 정확도가 낮았으며, 혈청 크레아티닌 측정법의 표준화 이후 IDMS로 추적 가능한 크레아티닌 값을 활용한 현재의 공식으로 개정되었다[5,15] (Table 1). 또한 MDRD 공식은 인종에 따라 계수를 추가해야 하며, 국내에서 한국인의 계수를 조사하여 보고한 바 있다[16].

## CKD-EPI 공식

CKD-EPI 공식은 MDRD 공식과 동일하게 혈청 크레아티닌 농도, 연령, 성별, 인종을 포함한 총 4개 변수로 구성되나 계수의 차이가 있다[17]. CKD-EPI 공식은 신장 이식 환자를 포함한 다양한 인구 집단에서 MDRD 공식에 비해 사구체여과율을 더 정확하게 예측하는 것으로 보고되었으며, 특히 사구체여과율이  $60\text{ mL/min/1.73 m}^2$  이상인 환자에서 더 정확도가 높았다[18-22]. 40개국의 백만 명 이상의 환자를 대상으로 한 대규모 연구에서, MDRD 공식으로 추정된 사구체여과율이 만성 신부전 3기( $60\text{ mL/min/1.73 m}^2$  미만)에 속하는 환자에 대해 CKD-EPI 공식 이용 시 사구체여과율이  $60\text{ mL/min/1.73 m}^2$  이상으로 재분류되는 비율이 일반 인구 코호트에서 24.4%, 고위험 코호트에서 15.4%, 만성 신부전 코호트에서 6.6%였다. 이와 같이 상향 재분류된 환자는 예후가 더 좋은 것으로 보고되었다. 또한 CKD-EPI 공식은 사망률과 말기 신부전 발생의 위험성을 MDRD 공식에 비해 더 정확하게 예측하였다[23]. 30세 이상의 한국인을 대상으로 하여 MDRD 공식, CKD-EPI 공식을 포함한 5가지 공식으로 사구체 여과율을 추정 시, 만성 신부전 3기에 해당하는 환자의 비율이 각 공식에 따라 큰 차이를 보였다[24].  $^{51}\text{Cr}$ -EDTA로 측정 사구체여과율 값을 얻은 960명의 18세 이상 한국인에서 한국인 CKD-EPI 공식을 개발 및 검증 시, 기존의 CKD-EPI 공식으로 추정된 사구체여과율과 유사한 수준으로 평균 오차가 낮아 기존 공식을 한국인에서도 적용 가능함을 확인하였다[25].

CKD-EPI 공식은 주로 혈청 크레아티닌을 적용한 식이 활용되나, 크레아티닌과 시스타틴 C를 함께 적용한 식으로 추정된 사구체여과율이 가장 정확하고 정밀한 것으로 알려져 있다[26,27]. 그러나 일반 인구 집단에서 혈청 시스타틴 C를 단독으로 사용한 추정 사구체여과율이 혈청 크레아티닌을 단독으로 사용한 추정 사구체여과율에 비해 우월하지는 않다[28]. 따라서 2012년 KDIGO 진료 지침에서는 환자에서 신장 기능을 처음 평가할 때 혈청 크레아티닌과 2009년 발표된 크레아티닌 활용 CKD-EPI 공식을 활용한 추정 사구체여과율을 사용하되(권고수준, 1B), 혈청 크레아티닌 단독으로 추정된 사구체여과율이  $45\text{--}59\text{ mL/min/1.73 m}^2$ 로 감소된 환자에서 만성 신부전을 확진하거나 혈청 크레아티닌만을 사용하기 부정확한 상황에서는 2012년 발표된 크레아티닌과 시스타틴 C를 함께 적용한 추정 사구체여과율(Table 1)을 적용하도록 권고하였다(권고수준, 2C) [6]. 이러한 권고 사항을 미국의 Kidney Disease Outcomes Quality Initiative 또한 지지하고 있다[29].

흑인의 경우 비흑인과 동일한 측정 사구체여과율을 보이더라도 평균 혈청 크레아티닌이 높다는 보고에 기반하여, 기존의 CKD-EPI 공식은 흑인일 경우 계수를 적용하였다[17,30]. 그러나 최근 4,050명의 환자를 대상으로 한 연구에서, 흑인에서 기존의 공식을 계수 없이 적용하였을 때 추정 사구체여과율이 과대평가되고, 계수를 적용하였을 때 추정 사구체여과율이 과소평가됨을 확인하였다[31]. 또한 인종은 생물학적 구성이 아닌 사회적 구성이며, 공식에 인종을 포함하는 경우 인종 집단 내부와 인종 집단 사이의 다양성을 무시하고 의학계 내 인종 차별이 심화되는 것에 대한 우려가 제기되고 있다[32,33]. 따라서 인종을 생략한 새 공식이 개발되었으며, 새로운 크레아티닌-시스타틴 C 공식은 흑인에서 추정 사구체여과율을 과소평가하고 비흑인에서 추정 사구체여과율을 과대평가하나 인종 간 차이가 적고 정확도가 더 높은 것으로 확인되었다(Table 1). 또한 새로운 크레아티닌 공식으로 사구체여과율을 추정 시 기존 크레아티닌 공식에 비해 흑인 내 만성신부전 유병률이 높게 나타났고, 비흑인 내에서는 비슷하거나 적은 유병률을 보였다[31]. 따라서 2022년에 발표된 National Kidney Foundation Laboratory Engagement Working Group의 지침에서는 인종을 제외하고 2021년 CKD-EPI 개정 공식을 도입할 것을 권고하고 있다[34]. 그러나 18세 이상의 한국인 1,654명을 대상으로 하여  $^{51}\text{Cr}$ -EDTA로 얻은 측정 사구체여과율 값을 인종이 포함된 2009년 CKD-EPI 공식 및 인종을 제외한 2021년

CKD-EPI 공식으로 추정된 사구체여과율 값과 비교 시, 2009년 공식에서 더 낮은 중위 치우침 및 측정 사구체여과율과의 더 높은 일치율을 보여주었다[35]. 따라서 한국에서 이 공식이 실제 임상 진료, 연구 및 공중 보건에 적용될 때까지는 충분한 논의가 필요할 것으로 생각된다

#### 급성 신부전, 신장 이식, 투석 환자에서 사구체여과율 평가

급성 신부전 환자에서는 사구체여과율이 급격히 변화하며 이에 따라 내인성 여과인자들의 혈청 농도가 일정하지 않은 상태가 된다. 따라서 급성 신부전에서는 혈청 크레아티닌, 시스타틴 C 및 이로부터 도출된 추정 사구체여과율의 정확도가 떨어지며 해석에 주의를 요한다. 혈청 크레아티닌의 급격한 변화를 감안한 kinetic estimated glomerular filtration rate 공식이 급성 신부전 환자에서 사구체여과율을 확인하는 하나의 대안이 될 수 있으나 검증되지 않은 상태이다[36].

신장 이식을 받은 환자에서는 크레아티닌 외 추정 사구체여과율에 영향을 미치는 인자로 복용 약물 및 전신 질환과 관계된 내인성 생물 표지자를 들 수 있다. 메타분석 시 혈청 크레아티닌을 활용한 MDRD 공식과 CKD-EPI 공식 모두 신장 이식 환자에서 정확도가 높으나[37], 시스타틴 C를 활용한 CKD-EPI 공식의 경우 공식의 개발과 검증에 신장 이식 환자가 포함되지 않았고 이후의 연구에서도 일관된 결과를 보여주지 못하였다[38,39]. 따라서 신장 이식 환자 또한 비이식 환자와 동일하게 혈청 크레아티닌을 기반으로 한 추정 사구체여과율을 우선 활용하는 것이 합당하다.

투석 환자에서 잔여 신기능을 평가하는 것이 중요하나, 추정 사구체여과율은 투석과 관련된 여러 인자들(투석 중 체액 분포의 변화 및 체액 제거 등)로 인해 정확도가 떨어지므로 사용하지 않아야 한다. 대신, 혈액 투석 환자는 투석 세션 사이 소변 수집, 복막 투석 환자는 24시간 또는 48시간 소변 수집을 통해 요소 및 크레아티닌의 청소율을 구하는 것이 잔여 신기능을 측정하는 가장 흔한 방법으로 활용되고 있다[40].

#### 신기능에 따른 약물 사용 및 용량 조절

사구체여과율을 정확히 평가하는 것은 약물의 사용 여부 및 용량 조절을 결정하는 데 있어 매우 중요하다. 1998년 미국 Food and Drug Administration (FDA)에서 Cockcroft-Gault 공식이 사용 가능하다고 권고하였으며, 앞서 기술한 공식의 제한점에도 불구하고 계속 사용되어 왔다. 최근 FDA에서 개정된 지침에서는 크레아티닌을 기반으로 한 Cockcroft-Gault

공식(과체중, 비만 시 이상 체중[ideal body weight] 또는 보정된 체중[adjusted body weight]을 활용)과 CKD-EPI 공식(body surface area로 색인하지 않고 [non-indexed for body surface area] mL/min으로 표시)이 약동학 연구에 활용되기 충분하다고 권고하였다. 2010년 KDIGO 권고 지침에서는 각 환자에서 가장 정확한 방법으로 신기능을 평가하고 이를 약물 사용 및 용량 조절을 결정할 때 활용하도록 권고하였다[41].

## 결 론

사구체여과율 검사는 임상에서 신장 기능의 평가, 급성 또는 만성 신부전 환자에서 단계 설정, 예후 예측 및 약물 조절에 있어 매우 중요한 역할을 하고 있으며 실제 임상 현장에서는 주로 내인성 표지자인 크레아티닌과 시스타틴 C를 활용한 공식으로 추정 사구체여과율을 계산하여 신기능을 평가하고 있다. 크레아티닌과 시스타틴 C는 사구체여과율을 추정하는데 활용되는 유용한 표지자이나, 혈청 농도에 영향을 미쳐 추정 사구체여과율의 해석에 주의를 요하는 임상 상황에 대한 이해가 필요하다. 추정 사구체여과율 공식에는 Cockcroft and Gault 공식, MDRD 공식, CKD-EPI 공식이 있으며, 현재는 정확도 및 예후 예측 수준이 높은 CKD-EPI 공식이 널리 활용되고 있다. 최근 인종을 생략한 새로운 CKD-EPI 공식이 개발되었으며, 차후 임상 진료 및 연구에 적용할 지에 대해 추가적인 논의가 필요하다. 또한 급성 신부전, 신장 이식, 투석 환자에서 추정 사구체여과율의 활용에 주의를 요하며, 정확하게 평가된 사구체여과율을 기반으로 약물 사용 및 용량 조절 결정이 필요하다. 사구체여과율은 신장 기능을 평가하여 급성 및 만성 신부전 환자의 단계 설정 및 예후 예측, 약물 용량 조절과 치료 방향 결정에 중요한 역할을 한다. 또한 사구체여과율은 의료 영역에 국한되지 않고 공중 보건 및 국가 정책, 임상 연구 등 다양한 영역에 지대한 영향을 미치는 지표이다. 따라서 추정 사구체여과율을 정확하게 계산하기 위한 공식의 재평가 및 개발을 위한 추가 연구들의 중요성이 매우 높다 할 수 있겠다.

**중심 단어:** 사구체여과율; 크레아티닌; 시스타틴 C

## CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was

reported.

### FUNDING

None.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Harin Rhee conceived the idea of writing, reviewed and approved the final version of the manuscript. Da Woon Kim reviewed the literature, wrote this manuscript.

### ACKNOWLEDGMENTS

None.

### REFERENCES

1. Stevens LA, Coresh J, Greene T, Levey AS. Assessing kidney function--measured and estimated glomerular filtration rate. *N Engl J Med* 2006;354:2473-2483.
2. Kashani K, Rosner MH, Ostermann M. Creatinine: from physiology to clinical application. *Eur J Intern Med* 2020;72:9-14.
3. Greenberg N, Roberts WL, Bachmann LM, et al. Specificity characteristics of 7 commercial creatinine measurement procedures by enzymatic and Jaffe method principles. *Clin Chem* 2012;58:391-401.
4. Murthy K, Stevens LA, Stark PC, Levey AS. Variation in the serum creatinine assay calibration: a practical application to glomerular filtration rate estimation. *Kidney Int* 2005;68:1884-1887.
5. Myers GL, Miller WG, Coresh J, 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;52:5-18.
6. Levin A, Stevens PE, Bilous RW, et al. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) CKD Work Group. KDIGO 2012 clinical practice guideline for the evaluation and management of chronic kidney disease. *Kidney international supplements* 2013;3:1-150.
7. Kùme T, Sađlam B, Ergon C, Sisman AR. Evaluation and comparison of Abbott Jaffe and enzymatic creatinine methods: could the old method meet the new requirements? *J Clin Lab Anal* 2018;32:e22168.
8. Stevens LA, Schmid CH, Greene T, et al. Factors other than glomerular filtration rate affect serum cystatin C levels. *Kidney Int* 2009;75:652-660.
9. Fricker M, Wiesli P, Brändle M, Schwegler B, Schmid C. Impact of thyroid dysfunction on serum cystatin C. *Kidney Int* 2003;63:1944-1947.
10. Chew-Harris JS, Florkowski CM, George PM, Elmslie JL, Endre ZH. The relative effects of fat versus muscle mass on cystatin C and estimates of renal function in healthy young men. *Ann Clin Biochem* 2013;50:39-46.
11. Herget-Rosenthal S, Marggraf G, Hüsing J, et al. Early detection of acute renal failure by serum cystatin C. *Kidney Int* 2004;66:1115-1122.
12. Cockcroft DW, Gault MH. Prediction of creatinine clearance from serum creatinine. *Nephron* 1976;16:31-41.
13. Helou R. Should we continue to use the Cockcroft-Gault formula? *Nephron Clin Pract* 2010;116:c172-c185; discussion c186.
14. 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;130:461-470.
15. Levey AS, Coresh J, Greene T, et al. Expressing the modification of diet in renal disease study equation for estimating glomerular filtration rate with standardized serum creatinine values. *Clin Chem* 2007;53:766-772.
16. Lee CS, Cha RH, Lim YH, et al. Ethnic coefficients for glomerular filtration rate estimation by the modification of diet in renal disease study equations in the Korean population. *J Korean Med Sci* 2010;25:1616-1625.
17. Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate. *Ann Intern Med* 2009;150:604-612.
18. Tent H, Rook M, Stevens LA, et al. Renal function equations before and after living kidney donation: a within-individual comparison of performance at different levels of renal function. *Clin J Am Soc Nephrol* 2010;5:1960-1968.
19. White CA, Akbari A, Doucette S, Fergusson D, Knoll GA. Estimating glomerular filtration rate in kidney transplantation: is the new chronic kidney disease epidemiology collaboration equation any better? *Clin Chem* 2010;56:474-477.
20. Cirillo M, Lombardi C, Luciano MG, Bilancio G, Anastasio P, De Santo NG. Estimation of GFR: a comparison of new and established equations. *Am J Kidney Dis* 2010;56:802-804.
21. Lane BR, Demirjian S, Weight CJ, Larson BT, Poggio ED, Campbell SC. Performance of the chronic kidney disease-epidemiology study equations for estimating glomerular filtration rate before and after nephrectomy. *J Urol* 2010;183:896-901.

22. Murata K, Baumann NA, Saenger AK, Larson TS, Rule AD, Lieske JC. Relative performance of the MDRD and CKD-EPI equations for estimating glomerular filtration rate among patients with varied clinical presentations. *Clin J Am Soc Nephrol* 2011;6:1963-1972.
23. Matsushita K, Mahmoodi BK, Woodward M, et al. Comparison of risk prediction using the CKD-EPI equation and the MDRD study equation for estimated glomerular filtration rate. *JAMA* 2012;307:1941-1951.
24. Ji M, Lee YH, Hur M, et al. Comparing results of five glomerular filtration rate-estimating equations in the Korean general population: MDRD study, revised Lund-Malmö, and three CKD-EPI equations. *Ann Lab Med* 2016;36:521-528.
25. Jeong TD, Lee W, Yun YM, Chun S, Song J, Min WK. Development and validation of the Korean version of CKD-EPI equation to estimate glomerular filtration rate. *Clin Biochem* 2016;49:713-719.
26. Inker LA, Schmid CH, Tighiouart H, et al. Estimating glomerular filtration rate from serum creatinine and cystatin C. *N Engl J Med* 2012;367:20-29.
27. Teo BW, Xu H, Koh YY, et al. Estimating kidney function in a multiethnic Asian population with multiple filtration markers. *Am J Kidney Dis* 2012;60:500-502.
28. Eriksen BO, Mathisen UD, Melsom T, et al. Cystatin C is not a better estimator of GFR than plasma creatinine in the general population. *Kidney Int* 2010;78:1305-1311.
29. Inker LA, Astor BC, Fox CH, et al. KDOQI US commentary on the 2012 KDIGO clinical practice guideline for the evaluation and management of CKD. *Am J Kidney Dis* 2014;63:713-735.
30. Lewis J, Agodoa L, Cheek D, et al. Comparison of cross-sectional renal function measurements in African Americans with hypertensive nephrosclerosis and of primary formulas to estimate glomerular filtration rate. *Am J Kidney Dis* 2001;38:744-753.
31. Inker LA, Eneanya ND, Coresh J, et al. New creatinine- and cystatin C-based equations to estimate GFR without race. *N Engl J Med* 2021;385:1737-1749.
32. Vyas DA, Eisenstein LG, Jones DS. Hidden in plain sight - reconsidering the use of race correction in clinical algorithms. *N Engl J Med* 2020;383:874-882.
33. Warren E, Booker C, Wyden R, Lee B. Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ) requesting a review of the use of race-based clinical algorithms in standard medical practices. Washington, D.C.: US Congress, 2020.
34. Miller WG, Kaufman HW, Levey AS, et al. National Kidney Foundation Laboratory Engagement Working Group recommendations for implementing the CKD-EPI 2021 race-free equations for estimated glomerular filtration rate: practical guidance for clinical laboratories. *Clin Chem* 2022;68:511-520.
35. Jeong TD, Hong J, Lee W, Chun S, Min WK. Accuracy of the new creatinine-based equations for estimating glomerular filtration rate in Koreans. *Ann Lab Med* 2023;43:244-252.
36. Chen S. Retooling the creatinine clearance equation to estimate kinetic GFR when the plasma creatinine is changing acutely. *J Am Soc Nephrol* 2013;24:877-888.
37. Shaffi K, Uhlig K, Perrone RD, et al. Performance of creatinine-based GFR estimating equations in solid-organ transplant recipients. *Am J Kidney Dis* 2014;63:1007-1018.
38. Masson I, Maillard N, Tack I, et al. GFR estimation using standardized cystatin C in kidney transplant recipients. *Am J Kidney Dis* 2013;61:279-284.
39. Keddiss MT, Amer H, Voskoboev N, Kremers WK, Rule AD, Lieske JC. Creatinine-based and cystatin C-based GFR estimating equations and their non-GFR determinants in kidney transplant recipients. *Clin J Am Soc Nephrol* 2016;11:1640-1649.
40. Steubl D, Fan L, Michels WM, et al. Development and validation of residual kidney function estimating equations in dialysis patients. *Kidney Med* 2019;1:104-114.
41. Matzke GR, Aronoff GR, Atkinson AJ Jr, et al. Drug dosing consideration in patients with acute and chronic kidney disease-a clinical update from Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO). *Kidney Int* 2011;80:1122-1137.