조영제 증강 CT검사 환자에서 eGFR을 적용한 부작용 분석

김 명 성[1] · 권 대 철[2,*]

[1]국립암센터 영상의학과, [2]신한대학교 바이오생태보건대학 방사선학과

Analysis of eGFR Calculator in Patients Undergoing Contrast Media Enhanced CT Examination

Myeong Seong Kim[1] and Dae Cheol Kweon[2,*]

[1]*Department of Radiology, National Cancer Center, Goyang 10408, Republic of Korea*
[2]*Department of Radiological Science, College of Bioecological Health, Shinhan University, Uijeongbu 11644, Republic of Korea*

Abstract - The purpose of this study was to investigate creatinine and estimated glomerular filtration rate (eGFR) in patients with CT using eGFR, and to provide a baseline data to prevent contrast induced nephropathy (CIN) To provide basic data. Patients who visited the hospital for CT examination were injected with contrast medium and examined for side effects. Contrast medium injection rate, injection rate, adverse reations, type of contrast agent, sex, and creatinine were entered into eGFR. The study of side effects of contrast media was conducted with the consent of the patients and the adverse effects following contrast injection were investigated according to the study ethics guidelines. Twenty-four patients with adverse drug reactions were included in the CT scan. Contrast medium was injected from a minimum of 80 ml to a maximum of 120 ml, and the injection rate per second was from 1.7 $ml \cdot s^{-1}$ to 4.5 $ml \cdot s^{-1}$. Among the patients, creatinine was measured variously according to the patient. In regression analysis of creatinine according to eGFR, R^2 showed a distribution of 0.747 and showed a linear relationship of inverse. We investigated retrospectively the creatinine and eGFR of patients with CT using eGFR to prevent side effects of contrast agents and provide basic data. In the case of adverse effects in the CT contrast agent, eGFR showed an inverse linear relationship in regression analysis according to creatinine.

Key words : Computed tomography, Creatinine, eGFR, Contrast media

서 론

CT (computed tomography)에서는 조영제를 이용하여 환자의 진단에 활용되고 있다. 이러한 조영제는 주입에 따른 부작용을 수반한다. 수용성 및 비이온성 조영제가 신장을 통해 배설하고 있다. 이러한 배설은 신장이 중요한 역할을 하고 있다.

* Corresponding author: Dae Cheol Kweon, Tel. +82-31-870-3411, Fax. +82-31-870-3419, E-mail. dckweon@shinhan.ac.kr

사구체여과율(eGFR; estimated glomerular filtration rate)은 신장의 기능을 나타내는 척도로서 신장에 적정투여용량 결정을 위한 방법으로 이러한 사구체여과율은 신장이 일정한 시간에 특정물질을 완전히 제거할 수 있는 혈장량으로 정의하고 있으며, 신장의 기능 평가에 대한 중요한 척도로 활용되고 있다(Song *et al*. 2008). 임상에서는 몸에서 생성되어 배설되는 크레아티닌(creatinine)의 혈장농도를 통해 사구체여과율을 평가하고 있다. 만성 신부전은 전세계적으로 증가하고 있는 추세이고(Lysaght *et al*. 2002), 미국에서 만

성 신부전에 의한 사망에 대한 보고는 1990년에 30,400명에서 2010년은 60,300명으로 증가하고 있다(Murray *et al*. 2013). 최근 연구에서는 만성 신부전이 말기신부전의 진행뿐만 아니라 심혈관 질환의 위험을 증가시킨다는 보고도 있다(Keith *et al*. 2004; Vanholder *et al*. 2005).

CT검사에서 조영제 부작용을 줄이기 위해 여러 방법으로 신장기능을 사전에 검사하여 크레아티닌 및 신기능검사로 환자의 상태여부를 확인한다. 조영제가 환자의 신장기능에 미치는 영향을 평가하기 위한 방법으로는 사구체여과율이 주로 적용되어 사용되고 있다(Kim *et al*. 2012).

조영제는 혈관 내에 투여하여 인체 내 혈관이나 연부 조직 기관을 대조도 높게 보기 위하여 사용되는 약물로서 대부분의 배출이 신장에서 이루어진다. 대부분의 조영제 약물은 수시간에서 수일 내에서 배출이 되지만 인체에 남아 있는 동안 신장(조영제 주입 후 24시간에서 5일 이내 peaking up to creatinine level) 신장에 독성 물질로 작용하여 조영제 투여환자 중 5~20%는 급성신장손상(acute kidney injury)에 대한 유병률을 보고하였다(McCullough 2008).

본 연구의 목적은 CT검사 환자에서 eGFR을 이용하여 후향적으로 크레아티닌 및 사구체여과율을 조사하여 임상에서 CIN (contrast induced nephropathy)의 조영제 부작용을 예방하는 기초자료 제공하고 CT 조영제 부작용의 예방 효과를 연구하여 기초 데이터를 제공하고자 한다.

대상 및 방법

1. 사구체여과율

사구체여과율은 인체의 신장이 1분 동안에 깨끗하게 걸러주는 혈액의 양으로 정의하며 신장의 기능을 평가하는 가장 중요한 수치이다. 정상적인 콩팥기능을 가진 사람의 사구체여과율은 분당 90~120 ml 정도이고, 하루에 180 liter로 분당 125 ml의 혈장을 여과하며 나이, 성별, 몸무게 등에 따라 사람마다 차이를 보인다(Stevens *et al*. 2006). 나이가 들면 정도의 차이는 있지만 일년에 0.75 $ml \cdot min^{-1}$ 정도로 감소하는 것이 일반적인 현상으로 고혈압 환자는 저하 속도가 더 빠른 경우가 흔하게 발생한다(Coresh *et al*. 2003).

신장의 기능에서 사구체 기능, 여과 기능을 나타내는 중요한 지표로서 사구체여과율은 정상치는 100 $ml \cdot min^{-1}$이다. 신장에 이상이 있으면 사구체여과율이 감소한다. 임상에서는 내인성 크레아티닌의 청소율을 구함으로써 사구체여과율을 계산한다. 사구체여과율은 신기능 평가에 중요한 지표이며, 임상에서는 혈청 크레아티닌(S.Cr)을 기초로 한 공식을 적용하여 보정하였다(Cockcroft *et al*. 1976; Levey *et al*. 2000).

$$\begin{aligned} &\text{eGFR (ml/min/1.73 m}^2\text{)} \\ &= 186 \times (\text{S.Cr in } \mu mol \cdot l^{-1} \times 0.011312)^{-1.154} \times (\text{age})^{-0.203} \\ &\quad \times (0.742 \text{ if female}) \end{aligned} \quad (1)$$

크레아티닌청소율(Ccr: creatinine clearance)을 계측할 때에는 혈청 크레아티닌(S.Cr: serum creatinine)을 이용한 경우에 여자에서 계산된 크레아티닌청소율의 85%이다. 사구체여과율은 다음과 같은 수정된 Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) 공식을 이용하여 간접적으로 GFR을 계산하여 신기능을 예측한다(Levey *et al*. 1999).

$$\begin{aligned} &\text{사구체여과율(GFR)} \\ &= 186 \times \text{Scr}^{-1.154} \times \text{age}^{-0.203} \times (0.742 \text{ if female}) \end{aligned} \quad (2)$$

2. 대상 및 방법

CT검사를 위해 내원한 환자를 대상으로 조영제 주입하여 검사하고 부작용에 대해 조사하였다. CT검사를 위해 국립암센터 영상의학과에 내원한 환자 중에서 조영제 부작용이 발생한 환자 24명(남 8명, 여 16명)을 대상으로 크레아티닌을 입력하여 eGFR를 계산하였고, 나이, 체중, 키, 성별, BMI (body mass index), 조영제 종류, 조영제 주입속도, 조영제 주입 용량, 부작용의 증상을 조사하였다. 조영제 부작용에 대한 분석은 기록을 후향적으로 분석하였다. 연구는 환자의 동의를 획득하여 CT검사에서 조영제 주입 후에 발생하는 부작용을 조사하였다.

검사에 사용된 조영제는 Bonorex® 300 (iohexol, Centrial Medical Service, Seoul, Korea), Pamiray® 300 (iopamidol, Dongkook Pharm., Seoul, Korea), Iomeron® 300 (iomeprol, Bracco, Milan, Italy), Ultravist® 300 (iopromide, Schering AG, Berlin, Germany), Genetix로 총 5종류로 주입하였다. CT검사를 위한 조영제 용량은 최저 80 ml에서 최대 120 ml로 주입하였고, 초당 주입량은 1.7 $ml \cdot s^{-1}$에서 최대 4.5 $ml \cdot s^{-1}$을 자동주입기를 이용하여 주입하였다.

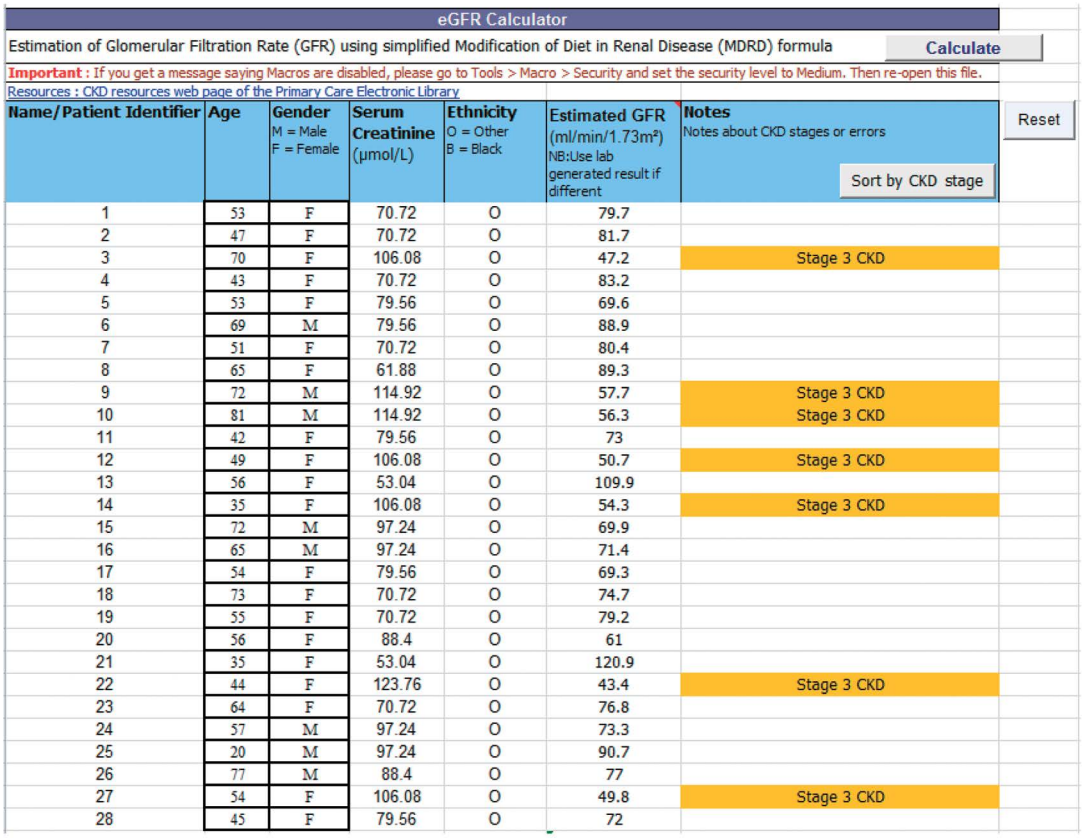
조영제 부작용이 발생한 환자는 eGFR (using the short version of the Modification of Diet in Renal Disease GFR calculator)을 이용하여 30~90 ml/min/1.73 m^2 사이의 신장 기능을 반영하여 산출하였고(Levey *et al*. 2006), CKD (chronic kidney disease) stage는 Table 1과 같이 분류하였다.

Table 1. Stage of CKD (chronic kidney disease)

Stage	GFR (ml/min/1.73 m^2)
1	> 90
2	60 to 89
3	30 to 59
4	15 to 29
5	< 15

Table 2. Summary of adverse reaction for injection of contrast media

Identifier	Creatinine ($mg \cdot dl^{-1}$)	Age	Weight (kg)	Height (m)	Gender	BMI	eGFR	Contrast media	Flow rate ($ml \cdot s^{-1}$)	Volume (ml)	Symptom
1	0.8	53	60	158	F	37.97	79.7	Bonorex®	2	80	Urticaria
2	0.8	47	52.7	145	F	36.34	81.7	Pamiray®	4.5	100	Dizziness, Chill
3	1.2	70	50.8	154.7	F	32.83	47.2	Iomeron®	1.7	115	Cough, Itching, Urticaria
4	0.8	43	52	158.4	F	32.82	83.2	Iomeron®	3.0	110	Flush, Hypermia, Itching, Urticaria
5	0.9	53	57	150	F	38	69.6	Iomeron®	2.0	110	Urticaria
6	0.9	69	48.5	163	M	29.75	88.9	Ultravist®	3.0	120	Dyspnea
7	0.8	51	58	165	F	35.15	80.4	Bonorex®	1.8	110	Vomiting, Orbital edema
8	0.7	65	52.8	157.5	F	33.52	89.3	Ultravist® 300	1.8	80	Dizziness, Weakness
9	1.3	72	72	164.6	M	43.74	57.7	Ultravist® 300	1.8	80	Flush, Dyspnea
10	1.3	81	58	164	M	35.36	56.3	Ultravist® 300	2.0	90	Dyspnea
11	0.9	42	68	158	F	43.03	73	Ultravist®	2.0	110	Itching, Facial edema
12	1.2	49	51	159	F	32.07	50.7	Ultravist®	2.0	110	Dizziness
13	0.6	56	45	160	F	28.12	109.9	Ultravist®	2.0	80	Dizziness
14	1.2	35	45	160	F	28.12	54.3	Pamiray®	1.7	80	Dyspnea
15	1.1	72	72	164.6	M	43.74	69.9	Pamiray®	1.7	50	Dyspnea, Abdominal pain
16	1.1	65	59.8	156.8	M	38.13	71.4	Ultravist®	1.8	90	Dizziness, Urticaria
17	0.9	54	43.3	156.9	F	27.59	69.3	Iomeron	3.5	120	Urticaria, Itching, Chill
18	0.8	73	52	151.6	F	34.30	74.7	Pamiray®	3.0	120	Hypermia, Urticaria
19	0.8	55	65	153	F	42.48	79.2	Pamiray®	2.0	90	Weakness
20	1	56	65	153	F	42.48	61	Ultravist®	2.0	120	Urticaria, Dizziness
21	0.6	35	48.3	142.8	F	33.82	120.9	Ultravist®	2.0	100	Dizziness, Dyspnea
22	1.4	44	62	164	F	37.80	43.4	Ultravist®	2.5	90	Seizure
23	0.8	64	56	154	F	36.36	76.8	Ultravist®	3.0	130	Weakness
24	1.1	57	67.8	172	M	39.41	73.3	Ultravist®	2.0	120	Dizziness, Cold sweating
25	1.1	20	56.5	168	M	33.63	90.7	Pamiray®	4.5	120	Urticaria
26	1	77	50	163	M	30.67	77	Ultravist®	2.0	80	Chill
27	1.2	54	38.1	159	F	23.96	49.8	Bonorex®	2.7	100	Dyspnea, Nausea
28	0.9	45	65	156	F	41.66	72	Genetix®	2.0	80	Dyspnea
Mean ± SD	0.97 ± 0.21	55.6 ± 14.2	56.12 ± 8.8	158.28 ± 6.52		35.46 ± 5.33	73.2 ± 17.7		2.35 ± 0.77	99.46 ± 18.97	



eGFR Calculator

Estimation of Glomerular Filtration Rate (GFR) using simplified Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) formula — Calculate

Important : If you get a message saying Macros are disabled, please go to Tools > Macro > Security and set the security level to Medium. Then re-open this file.

Resources : CKD resources web page of the Primary Care Electronic Library

Name/Patient Identifier	Age	Gender M = Male F = Female	Serum Creatinine (μmol/L)	Ethnicity O = Other B = Black	Estimated GFR (ml/min/1.73m²) NB:Use lab generated result if different	Notes Notes about CKD stages or errors
1	53	F	70.72	O	79.7	
2	47	F	70.72	O	81.7	
3	70	F	106.08	O	47.2	Stage 3 CKD
4	43	F	70.72	O	83.2	
5	53	F	79.56	O	69.6	
6	69	M	79.56	O	88.9	
7	51	F	70.72	O	80.4	
8	65	F	61.88	O	89.3	
9	72	M	114.92	O	57.7	Stage 3 CKD
10	81	M	114.92	O	56.3	Stage 3 CKD
11	42	F	79.56	O	73	
12	49	F	106.08	O	50.7	Stage 3 CKD
13	56	F	53.04	O	109.9	
14	35	F	106.08	O	54.3	Stage 3 CKD
15	72	M	97.24	O	69.9	
16	65	M	97.24	O	71.4	
17	54	F	79.56	O	69.3	
18	73	F	70.72	O	74.7	
19	55	F	70.72	O	79.2	
20	56	F	88.4	O	61	
21	35	F	53.04	O	120.9	
22	44	F	123.76	O	43.4	Stage 3 CKD
23	64	F	70.72	O	76.8	
24	57	M	97.24	O	73.3	
25	20	M	97.24	O	90.7	
26	77	M	88.4	O	77	
27	54	F	106.08	O	49.8	Stage 3 CKD
28	45	F	79.56	O	72	

Reset

Sort by CKD stage

Fig. 1. eGFR calculator.

3. 통계분석

혈청 크레아티닌에 따른 eGFR은 프로그램 Microsoft Excel 2010 (MS Excel; Microsoft, Redmond, MA, USA)을 사용하여 그래프를 그리고 추세선에 따른 회귀방정식을 산출하였다. 로그 방정식 $y = a \ln x + b$으로 추세선을 표시하였다. 이러한 로그 추세선은 방사선 선량의 변동률이 급격하게 증감한 후 일정한 값을 유지하는 경우에 적합한 곡선이다.

결 과

CT검사에서 조영제 주입에 따른 조영제 부작용이 발생한 환자의 데이터의 결과는 Table 2와 같이 24명으로 조사되었다. CT 조영제의 주입에 따른 부작용이 발생한 환자의 특성에서 크레아티닌은 0.97±0.21, 나이는 55.6±14.2, 체중은 56.12±8.8, 키 158.28±6.52, BMI 35.46±5.33로 조사되었다.

CT 조영제의 부작용이 발생한 환자의 크레아티닌은 환자에 따라 다양하게 분석되었다. CT검사 대상자의 조영제에 대한 부작용 발생 대상자의 크레아티닌과 eGFR 수치가 다소 낮은 편이긴 하지만 나이, 신장, 몸무게, 성별, 조영제 종류 및 주입 속도, 총량에 따라 관계가 없었다.

조영제 부작용이 발생한 환자의 eGFR calculator에 나이, 성별, 인종을 Estimation of Glomerular Filtration Rate (GFR) using simplified Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) formula (Giles *et al*. 2007)을 적용한 eGFR calculator (Fig. 1)에 입력하여 eGFR 73.2±17.7 ml/min/1.73 m^2 결과가 산출되었다. 결과에서 Stage of CKD (chronic kidney disease)인 30~59 ml/min/1.73 m^2는 7명으로 조사되었다 (Table 3).

CT 조영제에 대한 부작용이 발생한 환자의 데이터를 eGFR calculator에 입력하여 혈중 크레아티닌에 대한 eGFR의 회귀분석에서 회귀식은 $Y = -68.752X + 140.05$, 상관계수(R^2) 0.7024로 역의 선형관계를 보였다 (Fig. 2).

고 찰

요오드 기반의 임상에 사용되는 조영제는 CT검사의 진단에 중요한 역할을 하고 있으며 이러한 검사에서 조영제 부작용이 발생하여 기존 연구에서는 역학 감시와 함께 조영제에 대한 부작용에 대한 문서화 및 연구가 다양하게 진행되

Table 3. Result summary of serum creatinine and eGFR

Identifier	Age	Gender M = Male F = Female	Serum creatinine ($\mu mol \cdot l^{-1}$)	Ethnicity O = Other B = Black	Estimated GFR (ml/min/1.73 m^2)	Notes Notes about CKD stages or errors
1	53	F	70.72	O	79.7	
2	47	F	70.72	O	81.7	
3	70	F	106.08	O	47.2	Stage 3 CKD
4	43	F	70.72	O	83.2	
5	53	F	79.56	O	69.6	
6	69	M	79.56	O	88.9	
7	51	F	70.72	O	80.4	
8	65	F	61.88	O	89.3	
9	72	M	114.92	O	57.7	Stage 3 CKD
10	81	M	114.92	O	56.3	Stage 3 CKD
11	42	F	79.56	O	73	
12	49	F	106.08	O	50.7	Stage 3 CKD
13	56	F	53.04	O	109.9	
14	35	F	106.08	O	54.3	Stage 3 CKD
15	72	M	97.24	O	69.9	
16	65	M	97.24	O	71.4	
17	54	F	79.56	O	69.3	
18	73	F	70.72	O	74.7	
19	55	F	70.72	O	79.2	
20	56	F	88.4	O	61	
21	35	F	53.04	O	120.9	
22	44	F	123.76	O	43.4	Stage 3 CKD
23	64	F	70.72	O	76.8	
24	57	M	97.24	O	73.3	
25	20	M	97.24	O	90.7	
26	77	M	88.4	O	77	
27	54	F	106.08	O	49.8	Stage 3 CKD
28	45	F	79.56	O	72	

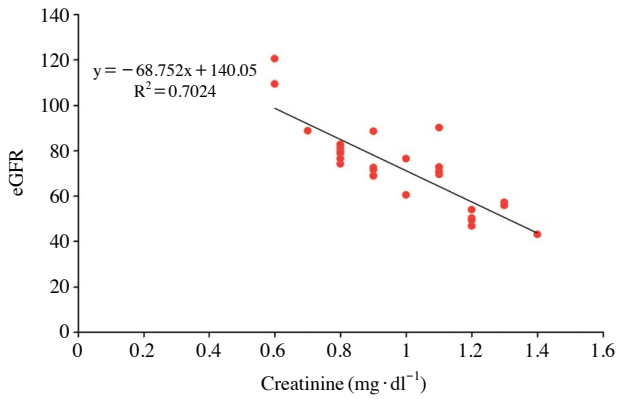


Fig. 2. Illustrate of log regression analysis of creatinine and eGFR log counts.

었다(Vogl *et al*. 2006; Kopp *et al*. 2008). 본 연구에서는 CT 검사에서 eGFR calculator를 이용하여 부작용이 발생한 환자 24명을 대상으로 크레아티닌 및 사구체여과 등을 후향적으로 조사하여 CT검사에서 조영제의 부작용을 예방하고 기초자료로 제공하기 위해 연구하였다.

사구체여과율은 혈청 크레아티닌, 나이, 인종 등을 eGFR 프로그램에 입력하여 산출하였다. 현대에 영상의학의 진단 기술의 발달과 함께 CT 조영제의 사용이 증가하고 있고, 임상에서 진단에 적용되어 응용되고 있다. 미국 National Kidney Foundation은 Kidney disease/Dialysis outcome quality improvement (K/DOQI) 지침은 신장의 사구체여과율을 기준으로 CKD의 병기(stage)를 분류하였다. eGFR이 정상(90 ml/min/1.73 m^2 이상), 경도 감소(60~89 ml/min/1.73 m^2), 중등도 감소(30~59 ml/min/1.73 m^2), 중증 감소(15~29 ml/min/1.73 m^2), 투석하는 신부전(< 15 ml/min/1.73 m^2)으로 정의하고 있다(National Kidney Foundation 2002; Levey *et al*. 2003). 본 연구에서 CT 조영제 부작용 발생 환자의 평균 eGFR 73.2 ± 17.7 ml/min/1.73 m^2로 경도 감소로 정상 신기능 이하로 볼 수 있고 seizure 반응을 보였던 환자의 경우 eGFR은 43 ml/min/1.73 m^2로 낮은 결과 값을 나타냈다. 또한 Stage of CKD가 3인 환자가 7명으로 조사되었다. 본 연구 대상자 수로 eGFR 수치와 조영제 부작용 발생과의 연관성을 관계를 단언할 수 없지만 인체에서 독성 물질을 걸러주고 외부로 배출시키는 역할을 하고 있는 신장의 기능이 미약하다면 조영제로 인한 부작용 발생의 확률은 당연히 높을 수 밖에 없을 것이다(National Kidney Foundation 2002; Levey *et al*. 2003).

크레아티닌에 대한 eGFR에 대한 회귀분석에서 회귀식은

Y = −71.841X + 145.05, 상관계수(R^2) 0.7157로 역의 선형 관계를 보였다. 크레아티닌이 높을수록 신사구체여과율이 높아지는 역의 상관관계를 나타내었다. 기존 연구에서 크레아티닌과 eGFR의 상관계수는 0.80 (Kim *et al*. 2007), 0.88 (Le Bricon *et al*. 2000)과는 차이를 보였으나, Newman *et al*. (1995)이 보고한 0.81과는 유사한 결과가 본 연구의 환자의 조사에서 산출되었다.

연구에 대한 기대효과는 만성 신부전에 대한 자료를 축적하여 활용할 수 있고, 크레아티닌 및 GFR 조사로 임상에서 조영제 부작용을 예방하는 연구 기대효과가 있다. 연구의 제한점으로는 CT 조영제 주입에 따른 부작용이 발생한 환자를 대상으로 하여 정상 대조군과의 비교가 없어 추가적인 연구가 필요하고, 환자에 대한 다양한 자료를 추가적으로 광범위하게 후향적으로 연구하여 분석하여야 필요성이 제기된다.

결 론

CT검사에서 환자에게 사용되는 조영제로 인한 부작용 발생은 eGFR 수치가 낮을 수록 발생확률이 높을 수 있다. 임상에서 조영제 부작용을 예방하고 안전한 CT 조영제 사용을 위하여 검사 전 환자의 eGFR 프로그램을 이용을 필수적으로 고려하여야 한다.

사 사

이 논문은 2019년도 국립암센터의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

Cockcroft DW and Gault MH. 1976. Prediction of creatinine clearance from serum creatinine. *Nephron*. **16**(1):31-41.

Coresh J, Astor BC, Greene T, Eknoyan G and Levey AS. 2003. Prevalence of chronic kidney disease and decreased kidney function in the adult US population: Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Am. J. Kidney Dis*. **41**(1): 1-12.

Giles PD and Fitzmaurice DA. 2007. Formula estimation of glomerular filtration rate: have we gone wrong? *BMJ*. **334** (7605):1198-1200.

Keith DS, Nichols GA, Gullion CM, Brown JB and Smith DH. 2004. Longitudinal follow-up and outcomes among a population with chronic kidney disease in a large managed care organization. *Arch. Intern. Med*. **22**(164):659-663.

Kim EY, Lee OS and Lim SC. 2012. Evaluation of factors affecting glomerular filtration rate by contrast media in patients with coronary angiography. *Korean J. Clin. Pharm*. **22**(2): 103-112.

Kim YH, Min WK and Rhew JS. 2007. Assessment of the accuracy and precision of cystatin C-based GFR estimates and Cr-based GFR estimates in comparison with Cr51-EDTA GFR. *Korean J. Lab. Med*. **27**(1):34-39.

Kopp AF, Mortele KJ, Cho YD, Palkowitsch P, Bettmann MA and Claussen CD. 2008. Prevalence of acute reactions to iopromide: postmarketing surveillance study of 74,717 patients. *Acta Radiol*. **49**(8):902-911.

Le Bricon T, Thervet E, Froissart M, Benlakehal M, Bousquet B, Legendre C and Erlich D. 2000. Plasma cystatin C is superior to 24-h creatinine clearance and plasma creatinine for estimation of glomerular filtration rate 3 months after kidney transplantation. *Clin. Chem*. **46**(8):1206-1207.

Levey AS, Bosch JP, Lewis JB, Greene T, Rodgers N and Roth D. 1999. A more accurate method to estimate glomerular filtration rate from serum creatinine: a new prediction equation. *Ann. Intern. Med*. **130**(6):461-470.

Levey AS, Coresh J, Balk E, Kausz AT, Levin A, Steffes MW, Hogg RJ, Perrone RD, Lau J and Eknoyan G. 2003. National Kidney Foundation practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification. *Ann. Intern. Med*. **139**(2):137-147.

Levey AS, Coresh J, Greene T, Stevens LA, Zhang YL, Hendriksen S, Kusek JW, Van Lente F; Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration. 2006. Using standardized serum creatinine values in the modification of diet in renal disease study equation for estimating glomerular filtration rate. *Ann. Intern. Med*. **145**(4):247-254.

Levey AS, Greene T, Kusek I and Beck G. 2000. A simplified equation to predict glomerular filtration from serum creatinine. *J. Am. Soc. Nephrol*. **11**(15):155A.

Lysaght MJ. 2002. Maintenance dialysis population dynamics: current trends and long-term implications. *J. Am. Soc. Nephrol*. **13**(Suppl 1):S37-40.

McCullough PA. 2008. Contrast-induced acute kidney injury. *J. Am. Coll. Cardiol*. **51**(15):1419-1428.

Murray CJ, Atkinson C, Bhalla K, Birbeck G, Burstein R, Chou D, Dellavalle R, Danaei G, Ezzati M, Fahimi A, Flaxman D, Foreman, Gabriel S, Gakidou E, Kassebaum N, Khatibzadeh S, Lim S, Lipshultz SE, London S, Lopez, MacIntyre MF, Mokdad AH, Moran A, Moran AE, Mozaffarian D, Murphy T, Naghavi M, Pope C, Roberts T, Salomon J, Schwebel DC, Shahraz S, Sleet DA, Murray, Abraham J, Ali MK, Atkinson C, Bartels DH, Bhalla K, Birbeck G, Burstein R, Chen H, Criqui MH, Dahodwala, Jarlais, Ding EL, Dorsey ER, Ebel BE, Ezzati M, Fahami, Flaxman S, Flaxman AD, Gonzalez-Medina D, Grant B, Hagan H,

Hoffman H, Kassebaum N, Khatibzadeh S, Leasher JL, Lin J, Lipshultz SE, Lozano R, Lu Y, Mallinger L, McDermott MM, Micha R, Miller TR, Mokdad AA, Mokdad AH, Mozaffarian D, Naghavi M, Narayan KM, Omer SB, Pelizzari PM, Phillips D, Ranganathan D, Rivara FP, Roberts T, Sampson U, Sanman E, Sapkota A, Schwebel DC, Sharaz S, Shivakoti R, Singh GM, Singh D, Tavakkoli M, Towbin JA, Wilkinson JD, Zabetian A, Murray, Abraham J, Ali MK, Alvardo M, Atkinson C, Baddour LM, Benjamin EJ, Bhalla K, Birbeck G, Bolliger I, Burstein R, Carnahan E, Chou D, Chugh SS, Cohen A, Colson KE, Cooper LT, Couser W, Criqui MH, Dabhadkar KC, Dellavalle RP, Jarlais, Dicker D, Dorsey ER, Duber H, Ebel BE, Engell RE, Ezzati M, Felson DT, Finucane MM, Flaxman S, Flaxman AD, Fleming T, Foreman, Forouzanfar MH, Freedman G, Freeman MK, Gakidou E, Gillum RF, Gonzalez-Medina D, Gosselin R, Gutierrez HR, Hagan H, Havmoeller R, Hoffman H, Jacobsen KH, James SL, Jasrasaria R, Jayarman S, Johns N, Kassebaum N, Khatibzadeh S, Lan Q, Leasher JL, Lim S, Lipshultz SE, London S, Lopez, Lozano R, Lu Y, Mallinger L, Meltzer M, Mensah GA, Michaud C, Miller TR, Mock C, Moffitt TE, Mokdad AA, Mokdad AH, Moran A, Naghavi M, Narayan KM, Nelson RG, Olives C, Omer SB, Ortblad K, Ostro B, Pelizzari PM, Phillips D, Raju M, Razavi H, Ritz B, Roberts T, Sacco RL, Salomon J, Sampson U, Schwebel DC, Shahraz S, Shibuya K, Silberberg D, Singh JA, Steenland K, Taylor JA, Thurston GD, Vavilala MS, Vos T, Wagner GR, Weinstock MA, Weisskopf MG, Wulf S, Murray; U.S. Burden of Disease Collaborators. 2013. The state of US health, 1990-2010: burden of diseases, injuries, and risk factors. *JAMA*. **14**(310):591-608.

National Kidney Foundation. 2002. K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification. *Am. J. Kidney Dis*. **39**(2):S1-266.

Newman DJ, Thakkar H, Edwards RG, Wilkie M, White T, Grubb AO and Price CP. 1995. Serum cystatin C measured by automated immunoassay: a more sensitive marker of changes in GFR than serum creatinine. *Kidney Int*. **47**(1): 312-318.

Song YH, Park SH, Seo YH, An JY, Kim KH and Park PW. 2008. Relation between microalbuminuria and estimated glomerular filtration rate by creatinine and cystatin C. *J. Lab. Med. Qual. Assur.* **30**(2):259-265.

Stevens LA, Coresh J, Greene T and Levey AS. 2006. Assessing kidney function: measured and estimated glomerular filtration rate. *N. Engl. J. Med*. **354**(23):2473-2483.

Vanholder R, Massy Z, Argiles A, Spasovski G, Verbeke F and Lameire N. 2005. Chronic kidney disease as cause of cardiovascular morbidity and mortality. *Nephrol. Dial. Transplant*. **20**(6):1048-1056.

Vogl TJ, Honold E, Wolf M, Mohajeri H and Hammerstingl R. 2006. Safety of iobitridol in the general population and at-risk patients. *Eur. Radiol*. **16**(6):1288-1297.

Received: 16 January 2019
Revised: 4 February 2019
Revision accepted: 27 February 2019