

핵의학 영상의 정량적 분석을 통한 신장기능 평가 프로그램 개발

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실¹, 방사선과학교실²

송주영¹ · 이형구¹ · 서태석¹ · 최보영¹ · 신경섭¹ · 정용안² · 김성훈² · 정수교²

Development of Program for Renal Function Study with Quantification Analysis of Nuclear Medicine Image

Ju Young Song, M.S.,¹ Hyoung Koo Lee, Ph.D.,¹ Tae Suk Suh, Ph.D.,¹

Bo Young Choe, Ph.D.,¹ Kyung Sub Shinn, M.D.,¹ Yong An Chung, M.D.,²

Sung Hoon Kim, M.D.,² Soo Kyo Chung, M.D.²

*Department of Biomedical Engineering¹, Radiology² College of Medicine,
The Catholic University of Korea, Seoul, Korea*

Abstract

Purpose: In this study, we developed a new software tool for the analysis of renal scintigraphy which can be modified more easily by a user who needs to study new clinical applications, and the appropriateness of the results from our program was studied. **Materials and Methods:** The analysis tool was programmed with IDL5.2 and designed for use on a personal computer running Windows. For testing the developed tool and studying the appropriateness of the calculated glomerular filtration rate (GFR), ^{99m}Tc-DTPA was administered to 10 adults in normal condition. In order to study the appropriateness of the calculated mean transit time (MTT), ^{99m}Tc-DTPA and ^{99m}Tc-MAG3 were administered to 11 adults in normal condition and 22 kidneys were analyzed. All the images were acquired with ORBITOR, the Siemens gamma camera. **Results:** With the developed tool, we could show dynamic renal images and time activity curve (TAC) in each ROI and calculate clinical parameters of renal function. The results calculated by the developed tool were not different statistically from the results obtained by the Siemens application program (Tmax: p=0.68, Relative Renal Function: p=1.0, GFR: p=0.25) and the developed program proved reasonable. The MTT calculation tool proved to be reasonable by the evaluation of the influence of hydration status on MTT. **Conclusion:** We have obtained reasonable clinical parameters for the evaluation of renal function with the software tool developed in this study. The developed tool could prove more practical than conventional, commercial programs. (Korean J Nucl Med 2001;35:89-99)

Key word: ^{99m}Tc-DTPA, ^{99m}Tc-MAG3, Gamma camera, Renal function, Time activity curve, Glomerular filtration rate, Mean transit time.

Received Feb. 2, 2001; accepted Apr. 11, 2001

Corresponding author: Hyoung Koo Lee, Ph.D., Department of Biomedical Engineering, Medical College, Catholic University of Korea, 505 Banpo-Dong, Seocho-Gu, Seoul, 137-040, Korea

Tel: 02-590-2415, Fax: 02-532-1779

E-Mail: hkleee@cmc.cuk.ac.kr

※ 본 연구는 과학기술부 원자력 연구개발 중·장기 계획사업의 핵의학 기기 제품화 및 기반기술 개발과제 연구비 보조로 이루어졌음.

서 론

감마카메라로 얻은 영상의 정량적 분석을 통한 신장기능 평가에 관한 많은 연구가 이루어져 왔고, 이미 해외 선진 감마카메라 제작업체는 이와 관련된 분석 프로그램을 기기와 함께 상용화하여 다수의 병원에서 활용하고 있다. 현재 상용화된 분석 프로그램은 여러 가지 기본적인 신장 분석 기능을 포함하고 있으나, 사용자가 새로운 임상응용과 다양한 연구용 목적에 적용하기 위해 프로그램을 변경하거나 직접 프로그램을 개발, 추가하기에는 그 기능의 제약성이 있다. 특히, 서로 다른 기종의 감마카메라로부터 획득한 영상 분석시 비록 표준 영상 파일로 변환하여 영상자료의 호환은 가능하지만, 영상의 교환적 측면에만 국한되고, 제작사별로 서로 상이한 분석 프로그램으로 인해 범용적인 영상의 정량적 분석 측면에서 제약이 있으며, 해당 분석 프로그램을 일반 개인용 컴퓨터나 노트북 컴퓨터에 장착하여 사용하기에도 어려워 영상 활용의 공간적 제한성이라는 단점이 있다.

이 연구에서는 이러한 핵의학 영상의 정량적 분석과 관련하여 실제 임상 이용에서뿐만 아니라 연구 목적으로도 유용성과 활용도가 높고, 감마카메라 기종에 상관없이 획득한 영상을 windows 운영체제의 일반 개인용 컴퓨터에서 분석 가능한 프로그램을 개발하고자, 그 첫 단계로서 감마카메라에서 얻은 신장영상을 정량적으로 분석하여 신장기능을 평가할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 개발한 프로그램을 사용하여 도출한 신장기능 평가 지표값들의 분석을 통해 프로그램의 타당성을 검증하였다.

대상 및 방법

1. 대상

프로그램의 기본 성능 구현 및 사구체여과율 계산값의 타당성 검증을 위한 영상자료를 얻기 위하여 신기능이 정상이고, 신장질환이나 고혈압 및 당

뇨병 등의 과거력이 없는 총 10명의 성인을 대상으로 하였다.

평균통과시간 계산값의 타당성 검증을 위한 영상 자료를 얻기 위해 신질환의 과거력이 없는 정상인 11명의 22개의 신장을 대상으로 수분공급에 따른 평균통과시간 분석을 시행하였다. 대상자들은 탈수된 상태와 충분히 수분섭취가 된 상태에서 각각 서로 다른 날에 검사를 시행하였으며, 양 검사 사이에는 평균 3일의 간격을 두었다. 탈수된 상태는 검사 시작 전 8시간 동안 금식을 한 후 소변검사 스틱을 사용하여 측정된 소변비중이 1.025 이상인 경우에만 적절하게 탈수되었다고 인정하였으며, 충분한 수분섭취 된 상태의 검사는 탈수된 상태의 검사와 다른 날에 일상적인 식사 후, 검사 30분에서 1시간 전에 물 1,500 ml를 섭취하게 한 다음 측정된 소변비중이 1.010 이하인 경우에만 충분히 수분섭취가 되었다고 인정하였다.

2. 영상 획득

프로그램의 기본 성능 구현 및 사구체여과율 계산값의 타당성 검증을 위한 영상자료는 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 를 185 MBq 정맥주사 한 후, 처음에는 2초씩 60프레임, 다음에는 30초씩 50프레임으로 총 27분에 걸쳐 시간별 신장영상을 단일헤드 감마카메라 (ORBITOR, Siemens, 미국)로 얻었다.

평균통과시간 계산값의 타당성 검증을 위한 영상 자료는 정상인 11명의 22개 신장을 대상으로 수분공급에 따른 평균통과시간 분석을 시행하였는데, 이를 위해 370 MBq의 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 와 같은 양의 $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ 를 정맥주사 후, 처음에는 15초씩 24프레임, 다음에는 50초씩 24프레임동안 총 26분에 걸쳐 영상을 획득하였다.

모든 영상자료는 128×128 매트릭스 크기로 획득하였으며, 획득한 영상화일은 두 경우 모두 Interfile 형식으로 변환 후 프로그램에서 사용하였다.

3. 사구체여과율 계산

이 연구에서는 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 를 사용한 신장 영상 데이터로부터 사구체여과율 계산을 위해 아래와 같은 Gates 방법을 사용하였다.^{1,3)}

$$\frac{1}{D} \times \left(\frac{\text{Right Renal Counts} - B_rKG}{\exp[-0.153(13.3(W/H) + 0.7)]} + \frac{\text{Left Renal Counts} - B_lKG}{\exp[-0.153(13.2(W/H) + 0.7)]} \right) \times 975.621 - 6.19843 \quad (1)$$

여기서,

B_rKG : 우측 배후 계수값

B_lKG : 좌측 배후 계수값

D : 총 주입 방사능량

W : 몸무게 [kg],

H : 키 [cm]

위 식에서 사용되는 계수값은 방사성의약품 주입 후 2분에서 3분사이의 계수값을 사용하며, 사구체 여과율의 계산결과 단위는 ml/min이다.

4. 평균통과시간 계산

이 연구에서는 순수히 신장기능으로 인한 통과시간만을 평가하기 위해 신동맥으로부터 신장으로 유입되는 방사성의약품의 시간에 따른 변화량의 의존성을 제거할 수 있는 역중첩적분(deconvolution) 방법을 사용하였다.⁴⁾ 이 방법은 신장에서 계측되는 신기능곡선(renogram)은 신장에 직접 방사성의약품을 주입할 때를 가정하여 신장에서 나타나는 시간 방사능곡선과 실제 정맥으로 주입된 방사성의약품의 신동맥에서 연속적 형태의 시간방사능곡선과 중

첩적분(convolution)된 결과로 생각하여, 역으로 신장에서의 실제 시간방사능곡선을 신동맥에서의 시간방사능곡선으로 역중첩적분을 한 후 신장기능만에 의한 방사성의약품의 변화량을 보여주는 잔류함수(retention function) 값을 구하고, 이로부터 평균 통과시간을 계산하는 방법이다.^{5,6)} 아래 식들은 이와 같은 신장에서의 중첩적분 관계를 보여준다.

$$R(t) = \int_0^t I(t-\tau) \cdot H(\tau) d\tau \quad (2)$$

: 연속 중첩적분

$$R_n = \sum_{k=0}^n I_{n-k} \cdot H_k \cdot \Delta t \quad (3)$$

: 불연속 중첩적분

여기서,

R_n : 신장에서의 신기능곡선

H_k : 신장 잔류함수

I_{n-k} : 신동맥에서 시간에 따른 방사능 계수

식2와 식3에서의 항들을 행렬(matrix) 형태로 전환한 후, 역중첩적분 개념을 사용하면 $H = 1/I \cdot R \cdot 1/\Delta t$ 와 같이 잔류함수 값을 구할 수 있다. 계산된 잔류함수의 그래프를 그리고, 함수곡선 아래 면적을 구한 다음, 잔류함수 초기값 H_0 으로 나누면 평균통과시간이 계산된다. 잔류함수값을 계산시 방사능계수값 자체의 무작위잡음(random noise)으로 인해 계산값의 오차가 파동(fluctuation)형태로 발생

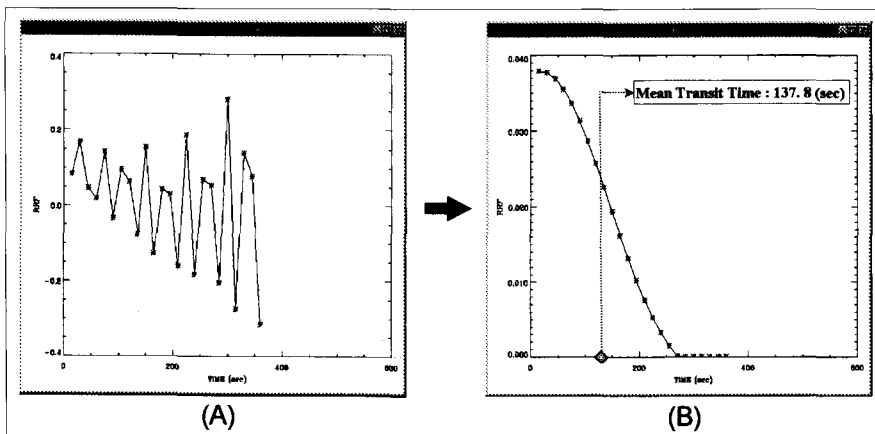


Fig. 1. An example of stabilization of retention curve obtained by deconvolution. (A) is the retention curve obtained without filtering and (B) is the stabilized retention curve after filtering of (A).

하는 데 이를 줄이기 위해 적절한 여과방법(filtering method)의 적용이 필요하다.⁷⁾ 이 연구에서는 선형 여과방법(linear filtering method)과 비선형 여과방법인 자료범위설정(data bounding) 방법을 사용하여 안정된 잔류함수값을 계산하였다(Fig. 1).

5. 기타 지표값들

이 연구에서 신장기능 평가용 지표값으로 중점을 두어 계산한 항목들은 위에서 설명한 사구체여과율과 평균통과시간이다. 이 밖에, 개발 프로그램상에 구현한 기타 지표값들로서는 시간방사능곡선과 관련된 항목들인 최대방사능도달시간(T_{max})과 최대계수시점으로부터 계수가 점차 감소하여 중간값이 되는 중간방사능도달시간($T_{1/2}$)이 있으며, 좌·우 신장의 상대적 방사능섭취량을 평가할 수 있는 상대신장기능(relative renal function)값과 방사성의약품 주입후 3분과 20분에서 신장내 방사능계수 비인 잔류방사능(residual cortical activity) 및 관류지수(perfusion index) 값들도 함께 계산하여 도시토록 하였다. 관류지수는 Hilson이 고안한 방법⁸⁾에 따라 계산하였는데, 이는 이식 신장의 기능을 평가하기 위해 고안된 것으로 이번 연구에서는 해당 기능 분석의 검증이 수행되지는 않았지만, 향후 이식신장의 기능 평가시 활용을 목적으로 신장 기능평가 지표중 하나로 채택하여 계산토록 하였다.

6. 분석 프로그램 개발

신장 영상의 정량적 분석 프로그램은 시간별 신장영상의 도시, 관심영역 설정, 사구체여과율 계산, 평균통과시간 계산, 시간방사능곡선의 생성 및 앞에서 언급한 기타 신장기능 평가용 지표값들의 계산을 주요 기능으로 작성하였다. 프로그램 개발을 위한 프로그래밍 언어로서는 IDL5.2를 사용하였는데, IDL은 프로그래밍 언어로서 학습 및 활용에 있어 다른 언어에 비해 용이하여, 사용자가 새로운 분석방법론에 대한 알고리즘 정립과 실제 기능 구현을 쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. 작성된 프로그램은 그 활용적 측면에서 범용성을 주기 위해 windows운영체제의 일반 개인용 컴퓨터에서 작동되도록 설계하였다.

관심영역은 좌·우 신장, 배후(background), 대동맥(aorta)에 대해 설정토록 하였으며, 기본적인 방법으로는 수동설정 기능이 구현되도록 하였고, 영상내 정보를 사용하여 모든 관심영역이 자동으로 설정되는 기능도 함께 구현토록 설계하였다. 이 관심영역의 자동설정 기능은 사용자 편이와 객관적 기준을 근거로 동일한 영상자료에서 일관성 있는 분석결과를 도출하기 위하여 개발하였다. 이 연구에서는 자동 관심영역 설정을 위해 원영상의 이진(binary) 영상화, 경계선 검출⁹⁾ 및 체인 코드(chain code)¹⁰⁾ 등의 방법을 사용하였다.

7. 개발 프로그램의 타당성 분석

이 연구에서 개발한 프로그램을 사용하여 구한 신장기능 분석용 지표값들의 타당성 분석을 위해 Siemens사의 상용 분석 프로그램인 MPE로 분석한 결과와 본 연구에서 개발한 프로그램으로 분석한 결과를 서로 비교, 검토하였다. 다만, 평균통과시간값의 타당성 검증은 Siemens사 프로그램에 그 계산 기능이 없어 계산값의 비교를 통한 검증대신 적절한 수분공급이 이루어진 수화(hydration)와 그 반대인 탈수(dehydration)의 경우에 대한 신장기능 분석에 적용하여 그 결과를 분석함으로써 타당성 검증을 대신하였다.

8. 개발 프로그램의 사용 방법

개발된 프로그램의 전체적인 구조는 Fig. 2와 같다. 좌측 상단의 'File'메뉴에서 획득한 신장 영상 파일을 불러오면, 해당 영상이 좌측에 표시된다. 영상 표시 구역 하단의 버튼으로 시간별 영상 데이터의 선택이 가능하다. 영상 우측에는 최종 계산된 신장기능 평가용 지표값들이 도시되며, 그 아래에 시간방사능곡선이 생성된다. 신장기능 평가용 지표값 계산시 필요하지만, 영상 헤더 파일에 포함되어 있지 않은 환자 정보 및 방사성 약품에 관한 사항을 입력할 때는 'INPUT'버튼을 사용하여 관련 값을 입력하며, 'PLOT'버튼은 주어진 조건에서 최종적으로 모든 신장 기능 평가용 지표값 계산과 시간방사능곡선 생성을 수행한다.

개발 프로그램에서 관심영역 설정의 기본 기능은

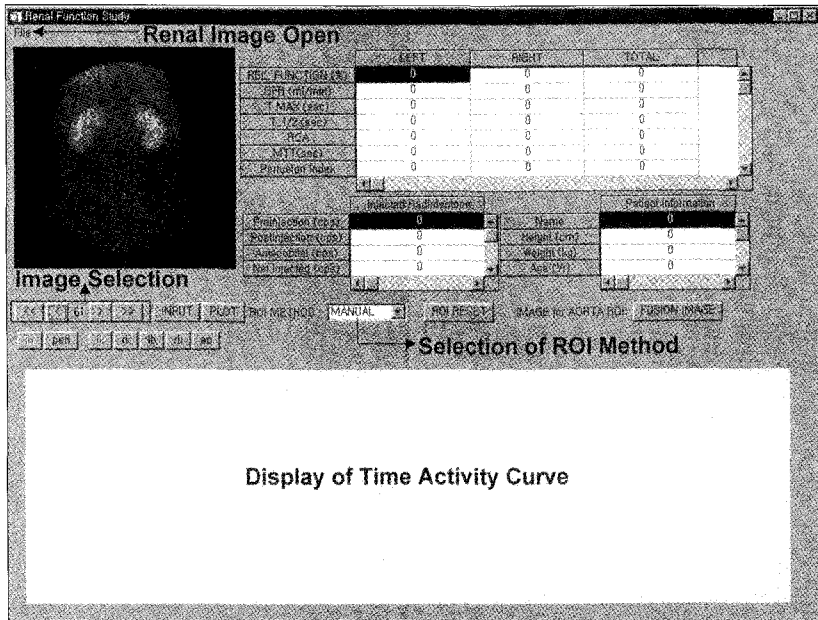


Fig. 2. A general view of the developed tool. The tool is designed to display a renal image, calculated clinical parameters and time activity curve.

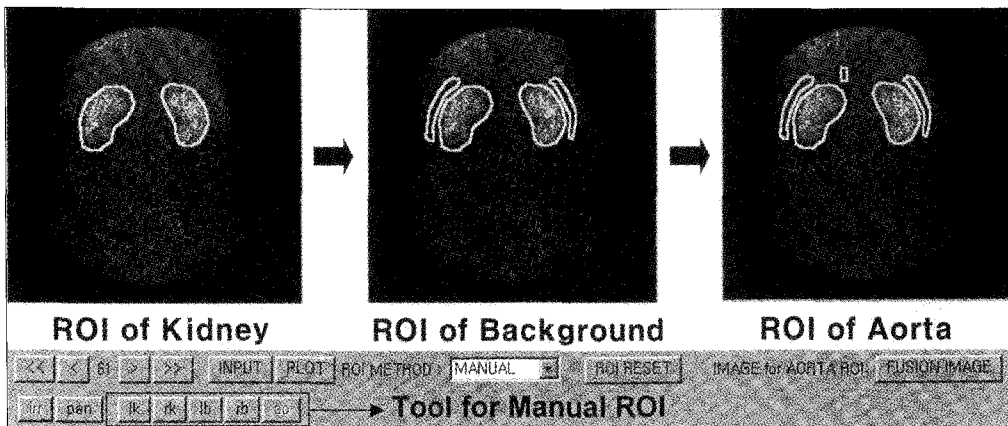


Fig. 3. An example of ROIs (for kidneys, backgrounds and aorta) which are drawn manually. Each ROI can be drawn by clicking the left button of a mouse after selecting the proper ROI button.

수동설정으로 되어 있으며, Fig. 3에서 볼 수 있는 5개 영역의 수동설정기능 버튼 중 해당 관심영역 버튼을 누르고 마우스로 영상 위에 직접 그려, 관심영역을 설정한다. Fig. 3은 수동설정 기능을 통해 신장영상에 관심영역 설정을 완료한 예를 보여준다.

Fig. 4는 관심영역의 자동설정 기능구현 과정을 예시한 것이다. 관심영역의 자동설정 기능을 구현코자 할 경우, 'ROI METHOD' 선택 버튼에서 'SEMI-AUTO'를 선택하여 자동 관심영역 설정 환경으로 변환한다. 마우스로 관심영역 설정 대상 신장주위를 드래그(drag)한 후 해당 신장 버튼을 누르

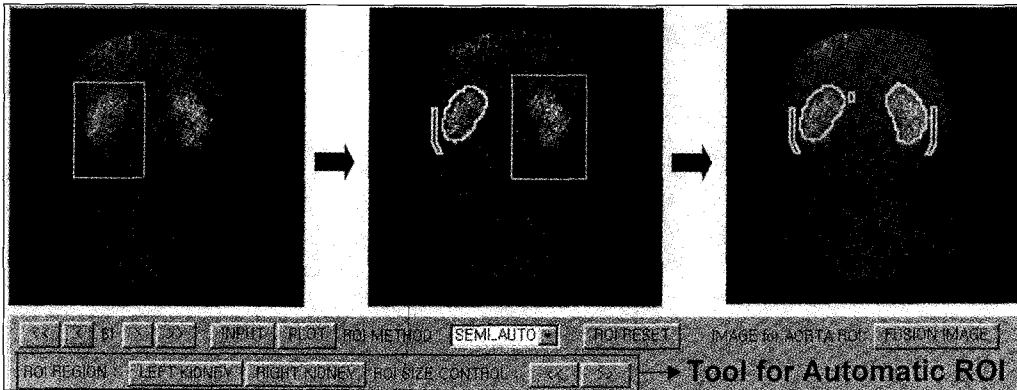


Fig. 4. The process of setting ROIs (for kidneys, backgrounds and aorta) with the function of automatic ROI formation. At first, the left button of the mouse is pressed and dragged around the kidney with the shape of a rectangle. The ROIs of kidney and background are generated at the same time after clicking a proper 'ROI REGION' button and the ROI of aorta is generated simultaneously with completing both sides of renal and background ROIs.

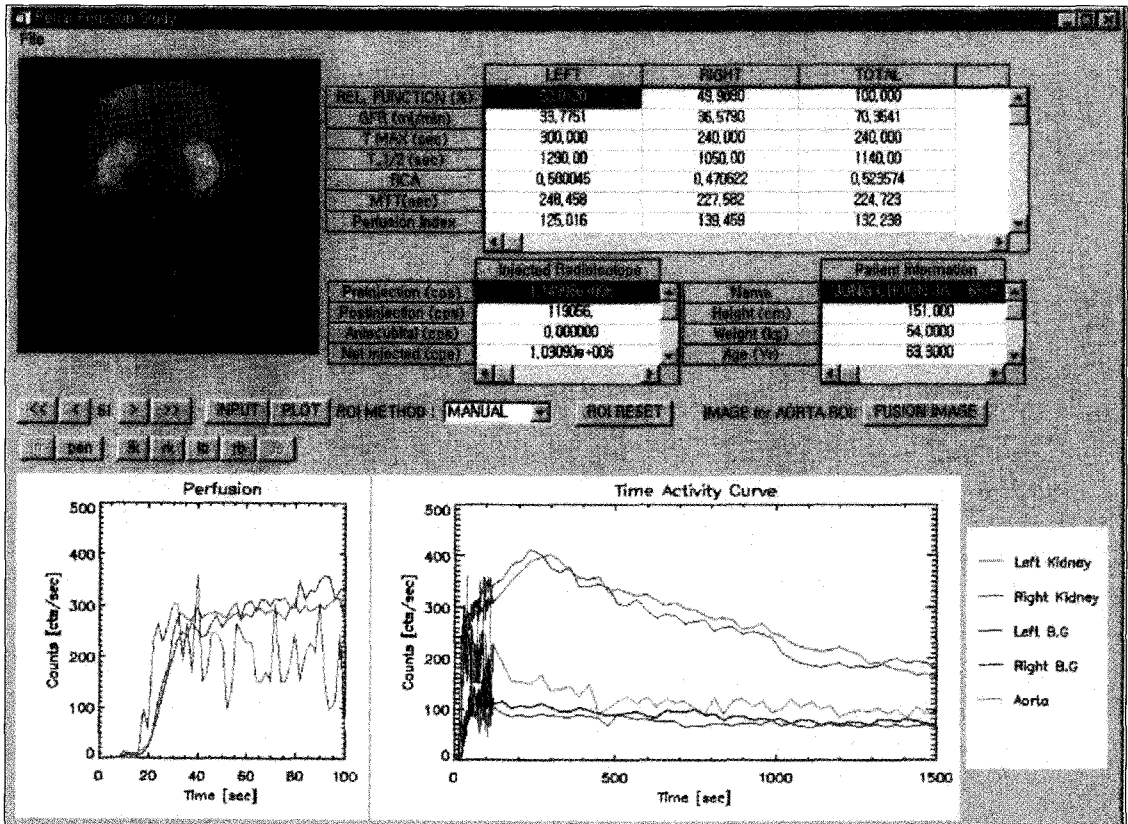


Fig. 5. A display of final results of renal function study with the developed tool. The renal image with ROIs, calculated clinical parameters and time activity curves are displayed as final results.

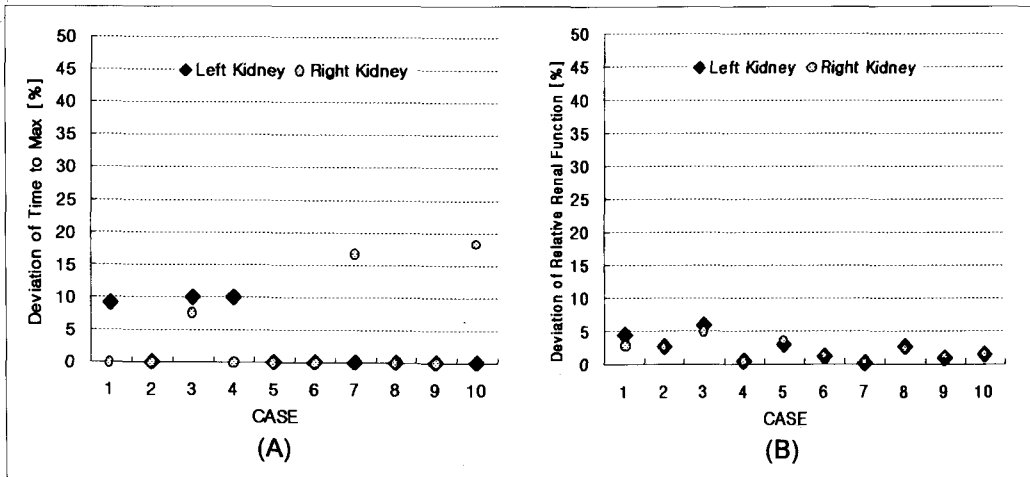


Fig. 6. The results of a comparison between the values calculated with a developed tool and the results calculated with the Siemens application tool. (A) is for T_{max} and (B) is for relative renal function. The results show that the two values are not different statistically. ($p(A)=0.68$, $p(B)=1.0$, at 0.05 level)

면 신장과 해당 배후 관심영역이 자동으로 그려지며, 크기 조절 버튼을 조작하면 사용자가 의도하는 크기로 신장 관심영역과 그 배후 관심영역을 자동으로 조정할 수 있다.

평균통과시간 및 관류지수 등을 구하기 위해서 필요한 대동맥(aorta)의 관심영역은 양측 신장의 관심영역이 설정이 완료된 후에 자동으로 설정되는데, 이는 초기 영상 일부분에서만 나타나는 대동맥의 특성을 보완하기 위하여 초기 영상들의 합성을 통한 영상내 대동맥 위치정보 강화외에 좌·우 신장의 위치 정보가 함께 요구되도록 작성한 프로그래밍에 의해 구현된다.

이와 같이 수동 또는 자동설정 기능을 사용하여 신장영상에 모든 관심영역 설정을 완료하고, 'INPUT'버튼을 눌러 계산에 필요한 추가 사항들을 입력한 후, 'PLOT'버튼을 누르면 구하고자 하는 모든 값들이 계산되어 시간방사능곡선과 함께 Fig. 5와 같이 최종적으로 도시된다.

결 과

이 연구에서 개발한 프로그램을 사용하여 얻은 신장기능 분석용 지표값들의 타당성 분석을 위해

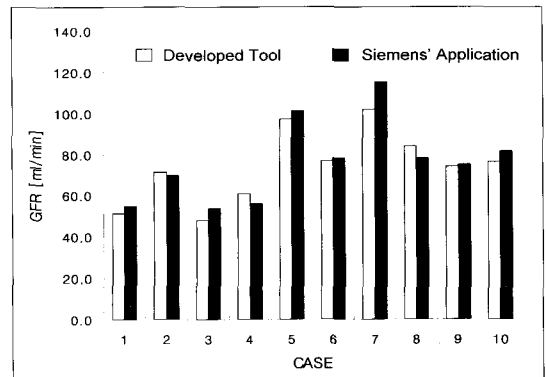


Fig. 7. The results of a comparison between the GFR calculated with the developed tool and with the Siemens application tool. The results show that the two values are not different statistically. ($p=0.25$, at 0.05 level)

10명의 20개 신장영상들을 대상으로 Siemens사의 상용 분석 프로그램인 MPE로 분석한 결과와 본 연구에서 개발한 프로그램으로 분석한 결과를 서로 비교, 검토해 보았다. 각 관심영역에서의 최대방사능도달시간(T_{max} [sec]), 좌·우 신장의 상대신장기능(relative renal function [%]), 사구체여과율(GFR [ml/min]) 값들을 비교, 검토 항목으로 설정하였다. Fig. 6에서와 같이 유의수준 5%에서 t 검정을 한

Table 1. Renal Mean Transit Time Analysis on Hydration and Dehydration

Case	^{99m} Tc-DTPA (sec)		^{99m} Tc-MAG3 (sec)	
	Hydration	Dehydration	Hydration	Dehydration
1	137.3	661.3	199.9	378.8
2	135.4	211.6	248.7	253.9
3	216.2	620.2	271.9	340.6
4	180.4	697.2	288.5	240.9
5	202.8	359.6	200.8	280.7
6	287.0	423.0	220.4	300.3
7	272.2	286.1	165.9	239.7
8	300.4	370.7	208.5	234.2
9	173.5	244.9	191.3	268.8
10	197.7	546.0	188.6	363.2
11	127.9	178.9	114.2	223.5
12	123.5	246.2	124.4	267.4
13	142.5	187.1	102.7	234.0
14	201.6	310.0	122.0	348.4
15	217.4	208.3	217.7	212.5
16	205.7	208.0	279.3	393.4
17	165.0	166.1	175.5	251.8
18	161.1	144.8	223.6	236.2
19	119.5	221.3	200.5	289.8
20	103.9	309.3	322.2	303.2
21	163.0	152.5	276.6	290.3
22	125.4	166.7	295.5	444.3
Average	180.0	314.5	210.9	290.7
t-test	p < 0.01		p < 0.01	

결과, 방사능계수값이 최대가 되는 시점(p=0.68)과 좌·우 신장의 상대적 기능 값들(p=1)은 서로 차이가 없음을 보여 주었다. 사구체여과율도 유의수준 5%에서 t 검정을 한 결과 두 계산값의 결과가 상이하지 않음(p=0.25)이 증명되었다(Fig. 7).

평균통과시간 계산값의 타당성 검토를 위해 실제 신장기능의 임상분석에 적용하여 그 결과를 분석함으로써 타당성 검증을 대신하였다. 성인 11명의 22개의 신장을 대상으로 수화상태와 탈수상태에서의 신장 영상을 감마카메라로 획득한 후, 이 연구에서 개발한 프로그램으로 평균통과시간을 계산하여 그 결과를 비교, 분석하였다. ^{99m}Tc-DTPA와 ^{99m}Tc-MAG₃의 두 가지 방사성의약품을 사용하여 수화경우와 탈수 경우 각각에 대해 평균통과시간 계산값을 구한 결과(Table 1), 수화시에는 탈수상태에 비해 신장 평균통과시간 값이 더 짧았고, 이는 수분

공급 정도에 따른 요행성향과 비례관계를 보여, 이 연구에서 개발한 평균통과시간 계산 기능의 타당성을 보여준 예라 할 수 있다.

고 찰

기존의 상용 감마카메라에 내재되어 있는 신장 영상의 정량적 분석 프로그램은 사용자의 필요에 따른 프로그램의 변경 및 새로운 기능의 추가가 어렵다는 단점을 갖고 있다. 이 연구에서는 이와 같은 기존 상용 프로그램의 단점을 고려하여 새로운 임상 연구의 필요에 따라 사용자가 해당 분석 기능을 직접 프로그램에 추가하기가 용이한 프로그램을 새로 개발하여 신장 기능 분석을 수행하였다. 이 연구에서 개발한 프로그램을 사용하여 정량적 분석의 기초가 되는 관심영역 설정과 해당 관심영역에서의

시간방사능곡선 및 사구체여과율과 같은 신장기능 평가를 위한 기본적인 값들을 도출할 수 있었고, 특히, 평균통과시간 및 신장류방사능, Hilson 관류지수 등과 같이 기존의 상용 프로그램에 없는 기능을 직접 개발하여 값을 얻을 수 있었으며, 그 값의 타당성을 입증할 수 있었다.

계산값들의 타당성 검증을 위해 수행한 Siemens사 분석프로그램과의 결과 비교에서, t 검정을 통해 통계학적으로 차이가 없음이 증명되었지만, 절대값 측면에서 약간의 차이를 보인 것은 Siemens사 분석프로그램과 이 연구에서 개발된 프로그램에서 설정된 관심영역의 크기가 정확히 일치하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 관심영역을 수동으로 설정할 때, 각 사용자별로 매번 서로 다른 설정을 하게 되어 동일한 모양과 크기의 관심영역을 설정하는 것이 불가능하다. 이러한 관심영역의 크기 차이로 인해 결국 관심영역으로부터 획득한 방사능계수값의 변화가 생기고, 전체적으로 서로 다른 계산값을 도출하게 된다. 이러한 문제점을 보완하고, 사용자 조작의 용이성 및 관심영역 설정시 소요시간 절약 등의 측면을 고려할 때, 관심영역 자동설정 기능이 필요하다. 이를 위해, 이 연구에서는 관심영역에 해당하는 신장 영역을 마우스로 설정만 하면 신장과 그 배후 관심영역이 자동으로 설정되는 기능을 개발하여 구현토록 하였다. 신장 관심영역으로부터 획득한 방사능 계수값은 감마카메라와 신장사이의 인체 조직에 분포된 방사성약물의 계수값이 포함되어 있어 타당한 값으로 차감, 보정해주어야 하며, 이를 위해 신장 배후 관심영역을 설정하여 해당 계수값으로 차감보정을 수행한다.¹¹⁾ 신장 배후 관심영역 설정 방법과 핵의학 영상의 정량적 분석간의 많은 연구가 수행되었는데, 일반적으로 신장 옆에 평행하게 관심영역을 설정해 주는 방법과 신장 주위를 두르는 형태의 관심영역 설정이 분석결과의 정확성을 높였다.¹²⁾ 이를 고려하여, 이 연구에서는 신장 옆에 평행한 형태의 배후 관심영역이 자동 설정되도록 프로그래밍하였다. 관심영역의 자동설정은 영상내 화소정보를 활용한 것으로 설정 결과가 사용자가 보기에 적당하지 않을 경우가 발생할 수 있으므로, 경계치값을 조정하여 관심영역 크기를 조절

할 수 있는 기능을 추가하였으며, 이러한 사용자 조정 측면이 있음을 고려하여, 'SEMI-AUTO'라는 기능적 명칭을 부여하였다. 이러한 관심영역 자동설정 은 수동설정시 보다 높은 동일한 관심영역 재현성을 보이지만, 사용자의 자동설정대상 영상선택 및 사용자 임의의 관심영역 크기 조절에 따라 약간의 변동이 있을 수 있어 사용자별 완벽한 반복 재현에는 여전히 어려움이 존재한다. 이러한 관심영역의 크기 변화 및 자동설정과 수동설정 에 따른 결과값의 민감도 분석을 추가로 수행하여 관심영역 설정 방법과 신장기능 분석결과와의 상관관계를 추가로 연구할 예정이다.

평균통과시간 계산값의 타당성 검토를 위해 수분 공급에 따른 평균통과시간값 분석을 수행하였고, 유의미한 결과를 도출하여 개발한 평균통과시간 계산기능의 타당성을 간접적으로 입증하였다. 향후, 이 연구에서 개발된 평균통과시간 계산 프로그램을 활용하여 좀 더 다양한 신장 기능상의 임상학적 분석, 연구를 수행할 예정이다.

결과분석을 통해 이 연구에서 개발한 신장기능 분석 프로그램은 그 타당성이 증명되어 유용성을 입증하였고, 이 밖에도 서로 기종이 다른 감마카메라에 제한을 받지 않고 단지 영상화일을 Interfile 형태로 변환만 함으로써 분석할 수 있으며, 연구 목적에서 언급했듯이 좀 더 다양한 임상 연구용 특수 목적의 분석기능을 사용자가 직접 개발하여 추가할 수 있어 연구적 활용범위가 기존 상용 프로그램보다 크다는 장점을 갖고 있다. 향후, 급변에 개발한 신장기능 분석 프로그램의 수정 및 작성 관련 프로토콜을 사용자 측면에서 좀 더 용이하게 개선하고, 다른 신체 기관의 핵의학영상에 대한 정량적 분석 기능도 추가로 연구, 개발해 나갈 예정이다.

요 약

목적: 감마카메라로부터 획득한 신장 영상의 정량적 분석을 통해 신장 기능 평가시 사용되고 있는 기존 상용 프로그램은 사용자 임의의 기능 변경 및 추가가 어려워 응용적 측면에서 단점을 갖고 있다. 이 연구에서는 이러한 기존 상용프로그램의 단점을

극복하고, 사용자가 임상 필요에 따라 기능 변경 및 추가를 쉽게 할 수 있는 분석 프로그램을 개발하여 그 결과의 타당성을 분석하였다. **대상 및 방법:** 개발된 프로그램은 IDL5.2를 사용하여 작성하였으며, windows 운영시스템의 일반 개인용 컴퓨터에서 구현토록 하였다. 프로그램의 기본 성능 구현 및 사구체여과율 계산값의 타당성 검증을 위한 영상자료를 얻기 위해 10명의 정상인을 대상으로 ^{99m}Tc -DTPA 방사성의약품을 사용하였고, 평균통과시간 계산값의 타당성 검증을 위한 영상자료를 얻기 위해 정상인 11명의 22개의 신장을 대상으로 ^{99m}Tc -DTPA와 ^{99m}Tc -MAG3를 사용하여 수분공급에 따른 평균통과시간 분석을 시행하였다. 신장영상은 Siemens사의 단일헤드 감마카메라(ORBITOR)를 통해 획득하였다. 정량적 분석을 위한 관심영역 설정은 수동설정 외에 자동설정 기능도 함께 개발하여 구현토록 하였다. 사구체여과율 계산을 위해 Gates방법을 사용하였고, 평균통과시간 계산을 위해 역중첩 방법과 적합한 여과 방법을 적용하여 안정된 값을 구하였다. **결과:** 개발한 프로그램으로 시간별 신장영상과 각 관심영역 내에서의 시간방사능곡선을 도시할 수 있었고, 사구체여과율, 평균통과시간 및 좌·우 신장의 상대적 기능 외에 각 관심영역에서 최대방사능도달시간(T_{\max})과 중간방사능도달시간($T_{1/2}$)과 같은 시간방사능곡선과 관련된 값들도 함께 계산하였다. 10명의 신장 영상 자료를 대상으로 개발된 프로그램으로 분석한 값들과 Siemens사의 기존 상용 분석 프로그램(MPE)으로 계산한 값들을 서로 비교, 분석한 결과, 통계학적으로 차이가 없음(최대 방사능도달시간: $p=0.68$, 상대신장기능: $p=1.0$, 사구체여과율: $p=0.25$)을 보여 개발한 프로그램이 타당성이 있음을 입증하였다. 평균통과시간 계산값의 타당성 검토와 관련하여, Siemens사의 상용 분석 프로그램에는 해당 기능이 없어 계산값의 비교를 통한 검증은 수행하지 못하였고, 수화(hydration)와 탈수(dehydration) 각각의 조건에 따른 신장기능 분석에 적용하였을 때, 판별 기준이 되는 유의미한 값을 산출하여 타당성 검증을 대신하였다. **결론:** 이 연구에서 개발한 핵의학 영상의 정량적 분석을 통한 신장기능 분석 프로그램을 사용하여 신장 기능

을 분석한 결과, 타당성 있는 결과를 도출하여 그 유용성을 입증하였다. 이 개발 프로그램은 좀 더 다양한 임상응용 목적의 분석기능을 사용자가 직접 개발, 추가하기가 용이하여 기존 상용 프로그램보다 연구적 활용범위가 크다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Peters AM, Myers MJ. The Genitourinary System. *Physiological Measurements with Radionuclides in Clinical Practice*. New York: Oxford University Press; 1998. p. 217-46.
- 2) 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.
- 3) Gates GF. Computation of Glomerular Filtration Rate with Tc-99m DTPA: An In-House Computer Program. *J Nucl Med* 1984;25:613-8
- 4) Piepsz A, Ham HR, Diffey BL, Goggin MJ, Lumbroso J, Paola RD et al. A co-operative study on the clinical value of dynamic renal scanning with deconvolution analysis. *Br J Radiol* 1982;55:419-33.
- 5) Diffey BL, Hall FM, Corfield JR. The ^{99m}Tc -DTPA Dynamic Renal Scan with Deconvolution Analysis. *J Nucl Med* 1975;17:352-5.
- 6) Gonzalez A, Puchal R, Bajen MT, Marial L, Prat L, Martin-comin J. ^{99m}Tc -MAG3 renogram deconvolution in normal subjects and in normal functioning kidney grafts. *Nucl Med commun* 1994;15:680-4.
- 7) Puchal R, Pavia J, Gonzalez A, Ros D. Optimal filtering values in renogram deconvolution. *Phys. Med. Biol* 1988;33:831-45.
- 8) Hilson AJW, Maisey MN, Brown CB, Ogg CS, Bewick MS. Dynamic Renal Transplant Imaging with Tc-99m DTPA(Sn) Supplemented by a Transplant Perfusion Index in the management of Renal Transplants. *J Nucl Med* 1978;19:994-1000.
- 9) Gonzalez RC, Woods RE. Image Enhancement. *Digital Image Processing*. New York: Addison-Wesley Publishing Company. 1993. p.161-202.
- 10) Jain AK. Image Analysis and Computer Vision. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Eaglewood Cliffs: Prentice Hall. 1989. p.342-430

- 11) Buijs WC, Siegell JA, Boerman IC, Corstens FH. Absolute Organ Activity Estimated by Five Different Methods of Background Correction. *J Nucl Med* 1998;39:2167-72.
 - 12) Taylor AJ, Thakore K, Folks R, Halkar R, Manatunga A. Background Subtraction on Technetium-99m-MAG3 Renography. *J Nucl Med* 1997;38:74-9.
-