

신장 핵의학 영상의 정량적 분석을 위한 관심영역 자동설정 기능 개발 및 사용자별 분석결과의 변화도 감소효과 분석

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

이형구, 송주영, 서태석, 최보영, 신경섭

신장 핵의학 영상의 정량적 분석시 설정하게 되는 관심영역은 그 설정 위치 및 모양과 크기에 따라 서로 다른 분석 결과를 도출하게 한다. 따라서, 관심영역을 사용자가 직접 육안으로 판별하여 수동으로 설정하는 경우, 사용자별 주관적 요소에 의해 위치 및 형태가 서로 상이한 관심영역을 설정하게 되어 동일한 자료를 분석하더라도 그 결과가 모두 상이한 값을 갖게 되는 문제점이 발생한다.

본 연구에서는 관심영역 수동설정시 사용자별 관심영역 설정의 변화도가 실제 신장기능 분석결과에 어느 정도의 영향을 주는지를 조사하였으며, 수동설정시보다 일관성 있는 결과를 얻기 위해 여러 방법의 자동설정 기능을 개발하여 그 적용 결과를 분석하였다.

관심영역의 설정에 따른 결과분석을 위한 지표값으로 좌·우 신장의 상대적 섭취도, 사구체여과율 및 평균통과시간을 선정하였고, IDL5.2로 프로그래밍하여 분석용 도구로서 적합한 소프트웨어를 개발하였으며, ^{99m}Tc -DTPA를 주입하여 얻은 총 11명의 정상인 신장 핵의학 영상을 대상으로 9명의 사용자들이 수행한 신장기능 평가 결과를 분석하였다. 신장 관심영역의 자동설정을 위해 영상내 화소들의 gradient값을 이용한 역치(threshold)의 계산과 border tracing기법을 적용하였으며, 배후 관심영역과 대동맥의 관심영역은 좌·우 신장의 관심영역이 설정 완료된 후, 영상내 기하학적 정보와 화소값을 참조로 하여 자동으로 설정되도록 하였다.

신장 관심영역의 자동설정 기능으로 사용자 주관적 요소의 배제 정도에 따라 4가지 방법을 개발하였으며, 각각의 적용결과를 비교, 분석하였다. 이 4가지 관심영역 자동설정 기능들은 그 구현 방법에 따라 조금씩의 차이는 있었지만, 수동설정시보다 정량적 분석 결과값의 사용자별 편차를 확연히 감소시켜, 신장 핵의학 영상의 정량적 분석시 객관적 기준을 통한 일관성 있는 결과를 도출함에 있어 그 기능의 상대적 우수성을 입증하였다.

중심단어 : 신장 핵의학 영상, 정량적 분석, 관심영역 자동설정, 사용자별 변화도

서 론

감마카메라로 획득한 신장 핵의학 영상의 정량적 분석을 통해 신장 기능을 평가 할 수 있는 여러 방법론들이 연구, 개발되어 실제 임상에 적용되고 있는데, 이러한 핵의학 영상의 정량적 분석은 분석하고자 하는 대상에 관심영역(region of interest, ROI)을

설정하고, 그 관심영역내에서 획득한 방사능계수값을 구간으로 수행된다[1,2]. 이 때 설정하는 관심영역은 그 설정 방법에 따라 분석 결과에 큰 영향을 주는 요소로서 여러 실험 및 연구를 통해 정확한 결과 도출을 위한 관심영역 설정방법이 논의되어 왔다. 이러한 관심영역 설정방법 중 사용자가 영상에 직접 관심영역을 그리는 수동설정방법은 동일한 영상자료를 대상으로 하여도 사용자마다 그 위치 및 형태, 크기가 서로 다른 관심영역을 설정하게 되어 상이한 분석결과를 도출하는 사용자별 변화도(inter-operator variability)가 크다는 단점이 있어 이 문제점을 해결하고자 많은 연구가 수행되어 왔다[3,4].

본 연구에서는 이러한 관심영역 수동설정시 사용자별 주관적 요소에 의한 관심영역 설정의 변화도가

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

통신저자 : 이 형 구, 서울시 서초구 반포동 505

가톨릭대학교 의공학교실

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

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

사용자별 분석결과 변화도 감소효과 분석

실제 신장기능 분석결과 변화에 어떠한 영향을 주는지를 조사하고, 사용자 주관적 요소를 배제하여 동일한 자료 분석시 일관성 있는 결과를 얻을 수 있도록 하는 관심영역 자동설정 방법을 개발하였다. 사용자 주관적 요소의 배제 정도와 구현 방법에 따라 4가지 자동설정 기능을 개발하였으며, 각각의 적용결과를 비교, 검토하여 사용자별 변화도 감소 효과면에서 최적의 설정방법에 대한 연구를 수행하였다.

대상 및 방법

1. 신장 핵의학 영상 획득

관심영역의 설정방법에 따른 신장기능 평가 결과를 분석하기 위한 영상자료를 얻기 위해 신기능이 정상이고, 신장질환이나 고혈압 및 당뇨병 등의 과거력이 없는 총 11명의 성인을 대상으로 ^{99m}Tc-DTPA를 5 mCi 정맥주사 한 후, 처음에는 2초씩 60프레임, 다음에는 30초씩 50프레임으로 총 27분에 걸친 시간별 신장영상을 단일헤드 감마카메라인 ORBITOR (Siemens, 미국)로 획득하였다. 모든 영상자료는 128×128 매트릭스 크기로 획득하였으며, 획득한 영상파일은 Interfile형식으로 변환 후 분석에 적용하였다.

2. 신장기능 평가용 임상학적 지표값 선정

신장 핵의학 영상의 정량적 분석을 통한 신장 기능평가용 임상학적 지표값으로 본 연구에서는 좌·우 신장의 상대적 섭취도(relative renal function), 사구체여과율(glomerular filtration rate), 평균통과시간(mean transit time)을 선정하여 관심영역 설정방법에 따른 영향을 분석하였다. 이 중 사구체여과율은 Gates 방법[5]을 적용하였고, 평균통과시간의 계산은 역중첩(deconvolution) 이론[6,7,8]을 적용하였으며 안정화된 값을 얻기 위해 data bounding method와 linear filter(1:2:1)를 적용하여 계산하였다[9].

3. 관심영역 설정 방법

좌·우 신장의 상대적 섭취도와 사구체여과율을 계산하기 위해서 좌·우 신장 및 각 신장에 해당하

는 배후(background)영역에 관심영역을 설정하였고, 평균통과시간을 구하기 위하여 대동맥 영역에도 관심영역을 설정하여 총 5개의 관심영역을 설정, 분석하였다.

1) 수동(manual) 설정

사용자가 영상에 직접 관심영역을 그려서 설정하는 방법으로 PC Window상의 GUI환경내 작업을 고려, 영상화면상에서 마우스의 cursor와 버튼을 사용하여 관심영역을 임의로 지정할 수 있도록 하였다(Fig. 1). 평균통과시간을 구하기 위해 설정하는 대동맥 관심영역은 신장의 형태학적 정보가 우수한 영상에서는 상대적으로 대동맥의 형태학적 정보가 미약하여 사용자가 시각적으로 판단하여 설정하기에는 어려움이 있어 대동맥의 형태학적 정보가 상대적으로 양호한 초기 영상에서 설정하거나, 초기 영상들의 합성을 통해 대동맥의 형태학적 정보를 강화한 합성영상을 생성하여 설정할 수 있도록 하였다(Fig. 2).

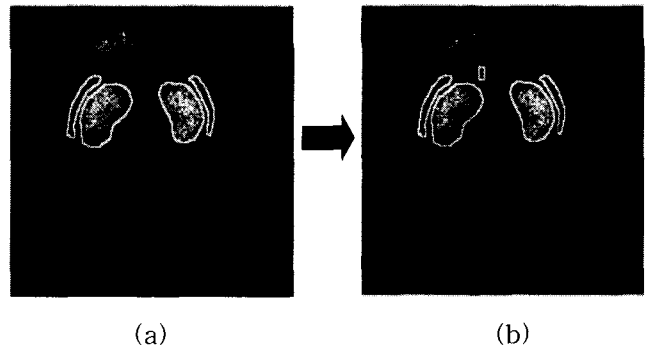


Fig. 1. Example of ROI drawn by a manual method. (a) shows ROIs for kidney and backgrounds. (b) includes a ROI for aorta.

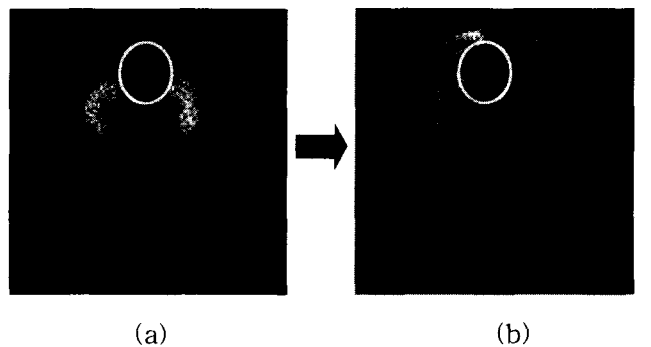


Fig. 2. Image of Intensifying the information of aorta morphology. (a) is original image. (b) is morphologically intensified image for aorta ROI.

2) 자동(automatic) 설정

관심영역의 수동설정시 사용자별 변화도가 높은 이유는 영상의 시각적 판별과 마우스 조작 등의 사용자의 주관적 요소에 기인한다. 따라서, 이러한 사용자의 주관적 요소를 배제하여 객관적 기준을 통한 일관성 있는 관심영역을 설정하는 것이 자동설정 기능의 목적이며, 본 연구에서는 이러한 주관적 요소의 배제 정도에 따라 4가지 방법의 자동설정 기능을 개발, 그 적용결과를 분석하였다.

본 연구에서는 좌·우 신장의 관심영역을 자동 설정한 후, 해당 배후 관심영역과 대동맥 관심영역이 자동 설정토록 설계하였는데, 기본적으로 영상이 갖고 있는 정보만을 이용하여 설정토록 하였다.

배후 관심영역을 설정하는 목적은 신장 관심영역 내에서 획득한 계수값에 신장으로부터의 계수값과 신장과 감마카메라사이의 조직에 존재하는 방사성의약품으로 인한 계수값이 포함되어 있으므로 이를 차감, 보정하기 위함이다. 이 배후관심영역은 신장 관심영역 주위에 설정되는데, 그 설정위치와 결과의 정확성에 대한 많은 임상학적 연구사례[10,11]를 조사하여 정확도가 높았던 신장 측면(lateral) 방향에 4pixel 크기로 자동설정토록 설계하였다. 평균통과시간을 계산하기 위한 대동맥 관심영역 설정은 수동설정시와 마찬가지로 대동맥의 형태학적 정보를 강화한 합성영상에서 기 설정완료된 신장 관심영역의 위치정보를 활용하여 해부학적으로 대동맥이 존재가능한 영역을 설정하고, 그 범위내에서 대동맥 중심 위치를 최대 화소값 정보로 찾은 후, 직사각형(5×10 pixels) 형태의 대동맥 관심영역을 자동설정토록 하였다.

좌·우 신장의 관심영역을 설정하기 위해 먼저, 시간별 영상중에서 신장의 형태학적 정보가 가장 우수한 영상을 선택하여야 하는 데, 이 영상 선택과정이 자동설정과정에서 고려된 첫번째 주관적 요소이다. 영상을 선택한 후, 적합한 화소값들의 역치(threshold)를 구해 이진영상으로 변환한 후 외곽 경계선만을 추출[12,13]하여 신장 관심영역을 설정하게 된다(Fig. 3). 이 과정에서 역치값을 구하기 위한 영역범위를 지정해 주어야 하는 데 이 범위 지정 과정이 자동설정과정에서 고려된 두 번째 주관적 요소이

다. 역치값은 식 (1) 에서와 같이 지정 영역내 화소들의 gradient값 평균을 구한 후, 이 값보다 큰 gradient값을 갖는 화소값들의 평균을 기본값으로 선정하였다.

기본값으로 계산된 역치로 설정한 관심영역이 사용자의 판정기준에 그 크기나 모양에 있어 수정사항이 있다고 판별되면 역치값을 조정하여 관심영역의 형태 및 크기를 변동할 수 있게 하였는데, 이 점이 자동설정과정에서 고려된 세 번째 주관적 요소이다. 본 연구에서는 이상에서 살펴본 세 가지 주관적 요소의 유무정도에 따라 4가지 방법의 설정을 구현하였는데, 그 특성은 Table 1.과 같다.

$$Avg_{\nabla} = \frac{\sum_{i,j \in A} |\nabla(f_{ij})|}{\sum_{i,j \in A} 1}$$

$$B \equiv \{ i, j \mid |\nabla(f_{ij})| > Avg_{\nabla} \} \quad (1)$$

$$Th = \frac{\sum_{i,j \in B} f_{ij}}{\sum_{i,j \in B} 1}$$

여기서,

- A : 관심영역 설정 대상 범위 영역 범위
- f_{ij} : 화소(i,j) 값
- B : 역치값 계산 대상 화소들의 집합
- Th : 이진영상 변환시 기준 역치값

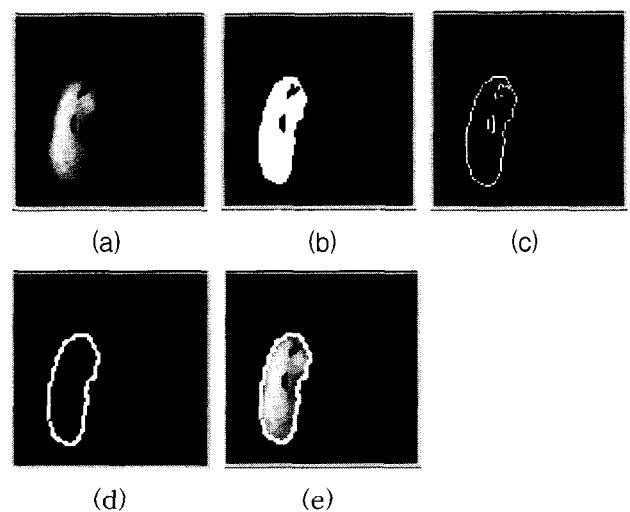


Fig. 3. Example showing the process of renal ROI formation. (a) is a original image. (b) is a binary image. (c) is formed by an edge detection method. (d) is formed by a boundary tracing method. (e) is a completed renal ROI

Table 1. Features of developed automatic ROI methods

	주관적 요소1 (영상선택)	주관적 요소2 (범위 지정)	주관적 요소3 (역치 조정)
방법 I	○	○	○
방법 II	×	○	×
방법 III	○	×	×
방법 IV	×	×	×

Fig. 4는 전체적인 관심영역 자동설정 과정을 나타낸 것으로 주관적 요소 고려 정도에 따른 4가지 방법의 자동설정기능 구현과정을 설명하고 있다.

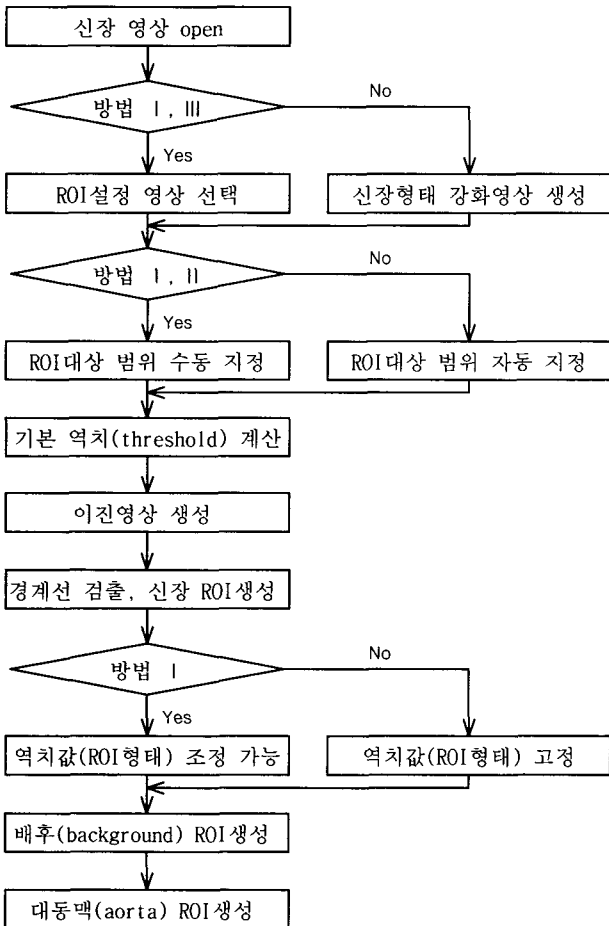


Fig. 4. Process to define ROI with developed automatic methods

자동설정 방법 I 은 위에서 제시한 3가지 주관적 요소를 모두 허용한 방법으로 관심영역 설정과정은 Fig. 5와 같이 사용자가 선정한 영상에서 마우스로

좌·우 신장 관심영역 대상 범위를 지정하면 자동으로 신장과 배후 관심영역이 설정되고, 좌·우 신장 및 배후 관심영역 모두 설정이 완료되면, 대동맥 관심영역이 자동 설정된다. 각 관심영역 설정단계에서 역치값을 조절하여 관심영역 형태를 조정할 수 있도록 허용하였다.

자동설정 방법 II에서는 관심영역 설정 대상 영상을 신장형태가 강화된 영상을 생성하여 하나의 영상으로 고정시키고, 역치조정을 통한 관심영역 형태의 조정을 허용치 않았으며, 단지 신장 관심영역 대상범위 지정에만 사용자 주관적 요소를 허용하였다. 신장형태 강화 영상은 신장의 형태학적 정보가 큰 2분과 3분사이의 영상을 합성하고, 합성된 영상에서 noise가 많은 초기 1분30초간의 합성영상을 차감하여 생성하였다.

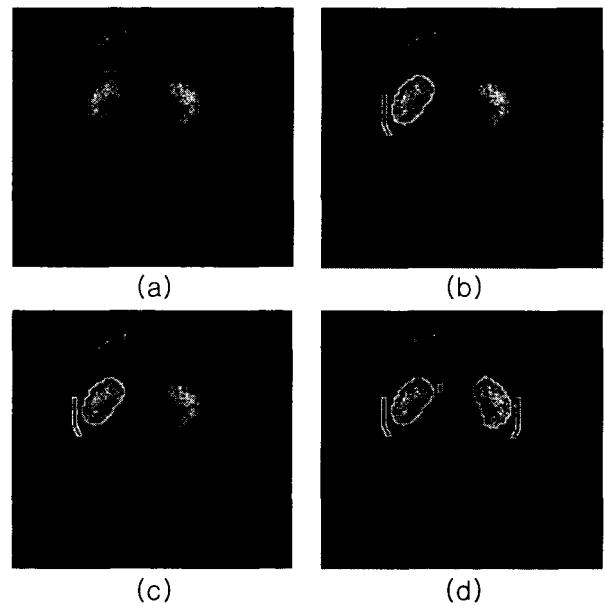


Fig. 5. Example of the process to define ROI with automatic method I & II. (a) shows the definition of area surrounding a left kidney. (b) shows defined ROI for a left kidney and background. (c) shows the definition of area surrounding a right kidney. (d) shows completion of ROI definition(left kidney, right kidney, backgrounds, aorta)

자동설정 방법 III에서는 관심영역 설정 대상 영상의 선택과정만을 사용자 주관적 요소로 허용하고, 다른 요소는 미리 설정된 기준에 의해 자동으로 구현되도록 하였다. 즉, Fig. 5에서 (a),(b),(c)과정이 생략되고, 모든 관심영역이 자동으로 동시에 생성되도록

사용자별 분석결과와 변화도 감소효과 분석

설계하였다. 선정된 영상에서 모든 관심영역을 자동으로 설정하기 위해서 먼저, 신장 관심영역 대상범위의 중심을 식 (2) 에서와 같이 구한 다음, 영상크기 28%의 가로와 36%의 세로를 갖는 직사각형의 범위를 자동으로 인식토록 하였다. 신장에 근접한 기관인 간, 비자 등이 영상에서 신장과 구분하기 어려울 때 정확한 신장만의 관심영역을 설정하는 데 문제점이 있을 수 있어, 이를 해결하기 위해 역치값과 관심영역 계산 과정에서 면적비를 고려하여 신장 형태만을 분리하였다. 이 과정에서 발생하는 관심영역 크기의 실제 대비 축소 문제는 다시 적합한 크기로 관심영역을 확장하여 해결하였다(Fig. 6)(Fig. 7).

$$Vaxis = \max(\sum_{j=c}^d f_{ij}), (a \leq i \leq b)$$

$$Taxis = \max(\sum_{i=a}^b f_{ij}), (c \leq j \leq d) \quad (2)$$

$$Center = Vaxis \cap Taxis$$

여기서,

Vaxis : 대상범위 중심의 종축 성분

Taxis : 대상범위 중심의 횡축 성분

a : 0(좌측 신장), *N/2*(우측 신장)

b : *N/2-1*(좌측 신장), *N-1*(우측 신장)

c : 0, *d* : *N-1*

N : 128 (128×128 matrix 영상 기준)

f_{ij} : 화소(*i,j*) 값

Center : 대상범위 중심

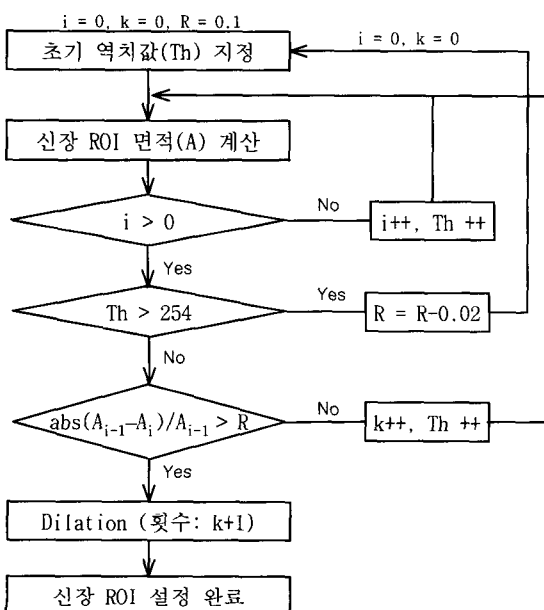


Fig. 6. Process to define ROI with automatic method III, IV

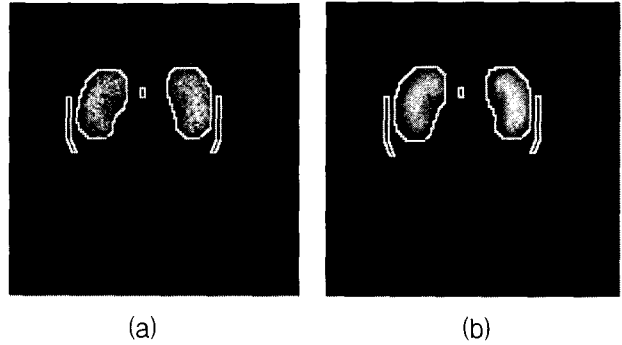


Fig. 7. Results of ROI definition with method III(a) and method IV(b).

4. 분석 도구 개발

본 연구에서 개발한 관심영역의 자동설정 기능을 실제 구현하여 신장기능 평가 결과를 분석하기 위해 IDL5.2를 사용, 분석도구를 프로그래밍하였다. 개발한 분석도구는 Siemens사의 분석 프로그램인 MPE Applications와의 비교시 통계학적으로 다르지 않은 결과(사구체여과율, paired t-test : p=0.25, 유의수준 5%)를 도출하였다.

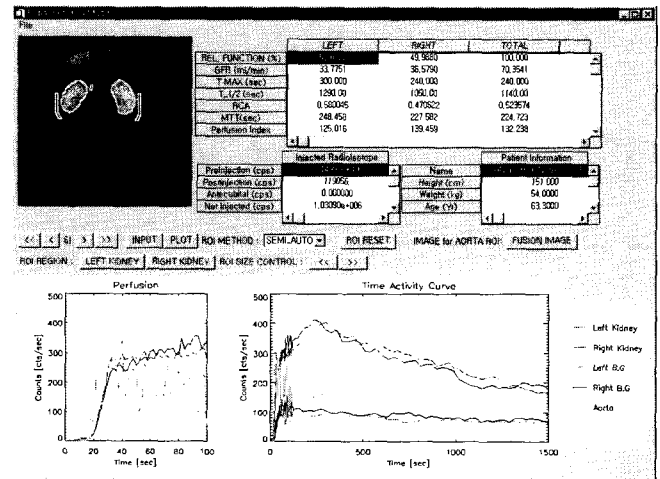


Fig. 8. Example of renal function study with the developed tool.

5. 사용자 변화도 분석 방법

개발한 관심영역 자동설정 기능을 사용하여 얻은

사용자별 분석결과와 변화도 감소효과 분석

결과와 수동설정을 통해 구한 결과와의 비교, 분석을 위한 실험 수행자로서 의공학 전공자이며, 신장의 해부학적 형태와 기능을 숙지한 총 9명의 연구원을 선정하였다. 각 사용자별로 총 11개의 신장 핵의학 영상을 대상으로 먼저, 수동으로 관심영역을 설정하여, 분석 대상으로 선정된 임상학적 지표값의 계산 결과를 기록한 다음, 4가지의 자동설정 기능을 사용하여 구한 결과값들을 기록하게 하였다. 관심영역 설정방법별로 분석결과와 평균값과 오차를 구하여 사용자별 분석결과와 변화도를 분석하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서 개발한 4가지 방법의 관심영역 자동설정기능을 사용, 사용자별로 구한 신장기능 평가 결과와 수동설정 방법을 사용하여 구한 값을 비교하여 각각의 특성들을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 자동설정 방법 I

본 연구에서 고려한 사용자 주관적 요소 3가지를 모두 허용하여 설계한 자동설정 방법 I을 사용한 분석 결과는 Table 2와 같다. 영상선정 및 범위지정, 관심영역 형태조정을 사용자 주관에 의해 설정하였음에도 수동설정시 보다 사용자별 분석결과와 표준편차가 상당히 감소한 결과를 보였다.

Table 2. Comparison of inter-operator variability between manual method and automatic method I

임상 지표	신장	평균		표준 편차	
		수동	자동	수동	자동
상대신장기능 [%]	좌	50.3	48.9	1.6	1.5
	우	49.7	51.1	1.6	1.5
사구체여과율 [ml/min]	좌	26.6	35.0	3.8	1.9
	우	33.2	34.2	3.9	1.8
평균통과시간 [sec]	좌	164.2	168.1	19.4	3.1
	우	179.4	199.2	27.3	4.3

분석결과를 살펴보면, 좌·우 신장의 상대적 섭취도의 경우 사구체여과율이나 평균통과시간의 경우보다 자동설정에 의한 사용자 변화도 감소효과가 상대

적으로 적은 결과를 보였는데, 이는 신장의 형태학적 정보가 영상에서 비교적 우수하여 수동설정시에도 사용자가 주의를 기울여 그리면 신장 관심영역 자체에서는 큰 오차를 발생하지 않았기 때문이고, 또, 자동설정시에 역치값 조정을 통한 관심영역의 형태 변경을 허용하였기 때문이다.

이와는 대조적으로 사구체여과율 및 평균통과시간의 경우에는 자동설정시 수동설정의 경우보다 확연한 사용자 변화도 감소효과를 볼 수 있었고, 특히, 평균통과시간의 경우는 그 감소효과의 정도가 더 큰 결과를 도출하였다. 이는 사구체여과율 계산시 필요한 배후 관심영역이 신장과는 달리 형태학적 정보가 없어 순수히 사용자 주관에 의해서만 결정되므로 수동설정시 더 큰 사용자 변화도가 발생하기 때문이며, 평균통과시간의 경우는 배후 관심영역외에도 대동맥 관심영역이 설정되어야 하는 데, 대동맥의 영상내 형태학적 정보가 아주 미약하므로 이 역시 수동설정시 사용자 주관성 내재도가 자동설정시보다 상대적으로 더 크게 발현되기 때문이다.

2. 자동설정 방법 II

자동설정 방법II에서는 관심영역 설정 대상인 신장영상을 신장의 형태학적 정보를 강화하여 합성한 단일 영상자료를 사용함으로써 영상선정 과정의 주관적 요소를 배제하였다. 영상선정의 나머지 2가지 주관적 요소는 허용하였으며, 그 분석 결과는 Table 3과 같다.

본 연구에서 분석한 11개의 영상자료는 모두 방사성약품 주입 2분 후에서 3분사이의 영상에서 신장의 형태학적 정보가 상대적으로 우수하여, 사용자별로 차이는 있었지만, 대략 6개 영상중에서 관심영역 설정대상 영상이 선정되어 분석되었다. 이러한 영상선정 과정에서의 주관적 요소를 배제한 결과, 방법 I에 비해 자동설정기능의 표준편차가 더 감소하여 분석결과와 사용자별 변화도 감소 효과가 더 우수함을 알 수 있었다. 하지만, 이러한 신장형태 강화 영상의 생성은 핵의학영상의 촬영 방법에 따라 설계를 새로이 해야 한다는 번거로움이 있어, 모든 신장 핵의학 영상에 적용하기에는 한계가 있고, 설정된 관심영역의 형태 조정이 불가능하여 방법 I과 동일한 기준의 신장 관심영역 설정으로는 부정확한 형태의 신장 관

사용자별 분석결과와 변화도 감소효과 분석

심영역이 생성될 시 보정이 불가능하다는 단점이 존재한다.

Table 3. Comparison of inter-operator variability between manual method and automatic method II

임상 지표	신장	평균		표준 편차	
		수동	자동	수동	자동
상대 신장 기능 [%]	좌	50.3	49.4	1.6	1.4
	우	49.7	50.6	1.6	1.4
사구체 여과율 [ml/min]	좌	36.6	32.5	3.8	1.6
	우	33.2	31.4	3.9	1.8
평균통과시간 [sec]	좌	164.3	167.7	19.4	2.5
	우	179.4	197.3	27.3	3.6

3. 자동설정 방법 III

자동설정 방법III에서는 신장영상 선택과 관련한 사용자 주관적 요소만을 허용하고, 다른 주관적 요소는 모두 배제하여 영상만 선택되면 모든 관심영역이 동시에 설정되도록 설계하였으며, 그 분석 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Comparison of inter-operator variability between manual method and automatic method III

임상 지표	신장	평균		표준 편차	
		수동	자동	수동	자동
상대 신장 기능 [%]	좌	50.3	50.3	1.6	1.0
	우	49.7	49.7	1.6	1.0
사구체 여과율 [ml/min]	좌	36.6	43.2	3.8	1.6
	우	33.2	39.5	3.9	1.3
평균통과시간 [sec]	좌	164.3	167.7	19.4	4.9
	우	179.4	194.5	27.3	4.6

자동설정 방법 I 에 비해서는 두 가지 주관적 요소의 배제로 인한 사용자별 변화도 감소 효과가 증가하였지만, 방법II에 비해서는 감소 효과의 증가가 미약하였으며, 평균통과시간의 경우는 오히려 편차가 증가하였다. 이는 사구체여과율 평균값의 증가에서

도 알 수 있듯이 신장 관심영역을 설정시 설계 기준에 여유도를 부여하여 방법II에 비해 상대적으로 관심영역 크기가 조금 증가하였고, 이로 인한 대동맥 관심영역의 위치 변화가 발생하여 평균통과시간 계산시 민감한 영향을 주었기 때문이라 생각된다.

4. 자동설정 방법 IV

자동설정 방법IV에서는 모든 주관적 요소를 배제하여 미리 설계한 기준에 의해 관심영역이 자동으로 설정되도록 하여 사용자별 변화도를 완전히 제거하였다. 즉, 방법III에서 허용한 영상선택 과정상의 주관적 요소마저 제거하여 사용자가 분석 대상 영상 자료를 불러오면 자동으로 관심영역이 설정되도록 설계하였으며, 그 분석 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Comparison of inter-operator variability between manual method and automatic method IV

임상 지표	신장	평균		표준 편차	
		수동	자동	수동	자동
상대 신장 기능 [%]	좌	50.3	50.9	1.6	0
	우	49.7	49.1	1.6	0
사구체 여과율 [ml/min]	좌	36.6	42.9	3.8	0
	우	33.2	38.5	3.9	0
평균통과시간 [sec]	좌	164.3	157.6	19.4	0
	우	179.4	185.8	27.3	0

이 방법은 모든 사용자별 변화도를 완전히 제거할 수 있어 항상 일관성 있는 결과를 얻을 수 있다는 장점은 있지만, 방법II와 방법III이 갖고 있는 문제점 또한 함께 내포하고 있어, 실제 적용시 촬영방법에 따른 설계 기준 재설정의 필요성과 그 적용에 있어 한계성이 발생할 수 있다.

결 론

본 연구에서는 핵의학 영상의 정량적 분석을 통한 신장기능 평가를 위한 선행작업인 관심영역 설정시 발생하는 사용자별 변화도를 줄일 수 있도록 자동 관심영역 설정기능을 개발하여 그 적용 결과를

사용자별 분석결과와 변화도 감소효과 분석

분석하였다. 그 결과, 본 연구에서 개발한 4가지 방법의 자동 관심영역 설정기능 모두가 수동 설정시보다 사용자별 변화도를 감소시켜 일관성 있는 결과를 도출하는 데 있어 상대적으로 우수함을 입증하였다.

주관적 요소의 배제를 통한 사용자별 변화도 감소 측면에서는 방법Ⅳ가 이상적인 결과를 도출하였지만, 다른 3가지 방법도 각각의 특성에 적합한 영상 자료에 적용하면, 유용성을 가진 분석도구가 될 수 있는 측면이 존재한다. 즉, 다양한 신장 핵의학 영상의 분석에서 사용자별 변화도의 완벽한 제거를 위해서는 촬영방법과 목적이 상이한 경우, 설계기준이 재설정되어야 하는 번거로움이 있는 반면, 어느 정도의 사용자 주관적 요소를 허용한 방법은 비록 완벽한 사용자별 변화도의 제거는 얻을 수는 없었지만, 설계기준의 재설정 없이 다양한 사례의 영상에 범용으로 적용할 수 있다는 장점 또한 존재한다. 결과에서 살펴본바와 같이 사용자 주관적 요소를 최대로 허용한 방법Ⅰ도 수동설정시보다 사용자별 변화도를 확연히 감소시킬 수 있었을 뿐 아니라, 다양한 영상에 적용, 사용자가 판단하기에 적합한 관심영역으로 재설정할 수 있도록 기능적 여유도를 부가하여 그 유용성을 입증할 수 있었다.

이상에서, 사용자의 전문적인 판단으로 직접 관심영역을 수동으로 설정해야 되는 특별한 경우를 제외하면, 관심영역의 자동설정 기능은 핵의학 영상 분석 결과의 사용자별 변화도를 감소시키고, 관심영역 설정시 사용자 편의성을 제공함과 동시에 분석 시간을 단축할 수 있어 반드시 필요한 기능이라 할 수 있으며, 사용자별 변화도의 감소라는 측면과 다양한 임상 사례로부터 획득한 영상의 정확한 분석이라는 측면을 서로 보완하여 설계하는 것이 최적이라는 결론을 내릴 수 있었다. 향후, 본 연구에서 개발한 관심영역의 자동 설정방법을 여러 임상학적 증상 및 분석자료에 적용하여 사용자별 변화도의 감소효과와 함께 실제 임상분석 측면에서도 정확한 결과를 도출할 수 있는 최적의 방법으로 개선해 나갈 계획이다.

참 고 문 헌

1. Peters A.M., Myers M.J.: *Physiological Measurements with Radionuclides in Clinical Practice*. Oxford University Press, New York

(1998), pp. 217-246

2. Mulligan J.S., Blue P.W., Hasbargen J.A.: Methods for Measuring GFR with Technetium-99m-DTPA: An Analysis of Several Common Methods. *J. Nucl. Med.* 31:1211-1219 (1990)

3. Yumi Tomaru, Tomio Inoue, Noboru Oriuchi, Kazukuni Takahashi, Keigo Endo : Semi-automated renal region of interest selection method using the double-threshold technique :inter-operator variability in quantitating ^{99m}Tc-MAG3 renal uptake. *Eur. J. Nucl. Med.* 25:55-59 (1998)

4. Yusuke Inoue, Kohki Yoshikawa, Naoki Yoshioka, Toshiaki Watanabe, Shigeki Saegusa, Yoshihiro Kaneko, Ikuo Yokoyama, Kuni Ohtomo.: Evaluation of Renal Function with ^{99m}Tc-MAG3 Using Semiautomated Regions of Interest. *J. Nucl. Med.* 41:1947-1954 (2000)

5. Gates G.F.: Computation of Glomerular Filtration Rate with Tc-99m DTPA: An In-House Computer Program. *J. Nucl. Med.* 25:613-618 (1984)

6. Piepsz A., Ham H.R., Diffey B.L., Goggin M.J., Lumbroso J., Paola R.D.: A co-operative study on the clinical value of dynamic renal scanning with deconvolution analysis. *Br. J. Radiol.* 55:419-433 (1982)

7. Diffey B.L., Hall F.M., Corfield J.R.: The ^{99m}Tc-DTPA Dynamic Renal Scan with Deconvolution Analysis. *J. Nucl. Med.* 17:352-355 (1975)

8. Gonzalez A., Puchal R., Bajen M.T., Marial L., Prat L., Martin-comin J.: ^{99m}Tc-MAG3 renogram deconvolution in normal subjects and in normal functioning kidney grafts. *Nucl. Med Commun.* 15:680-684 (1994)

9. Puchal R., Pavia J., Gonzalez A., Ros D.: Optimal filtering values in renogram deconvolution. *Phys. Med. Biol.* 33:831-845 (1988)

10. Buijs W.C., Siegell J.A., Boerman I.C.,

- Corstens F.H.: Absolute Organ Activity Estimated by Five Different Methods of Background Correction. *J. Nucl. Med.* 39:2167-2172 (1998)
11. Taylor A.J., Thakore K., Folks R., Halkar R., Manatunga A.: Background Subtraction on Technetium-99m-MAG3 Renography. *J. Nucl. Med.* 38:74-79 (1997)
12. Gonzalez R.C., Woods R.E.: *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, New York (1993), pp.161-202
13. Jain A.K.: *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall, Eaglewood Cliffs (1989), pp.342-430

Development of Automated Region of Interest for the Evaluation of Renal Scintigraphy : Study on the Inter-operator Variability

H.K. Lee, J.Y. Song, T.S. Suh, B.Y. Choe, K.S. Shinn

*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine
The Catholic University of Korea*

The quantification analysis of renal scintigraphy is strongly affected by the location, shape and size of region of interest(ROI). When ROIs are drawn manually, these ROIs are not reproducible due to the operators' subjective point of view, and may lead to inconsistent results even if the same data were analyzed.

In this study, the effect of the ROI variation on the analysis of renal scintigraphy when the ROIs are drawn manually was investigated, and in order to obtain more consistent results, methods for automated ROI definition were developed and the results from the application of the developed methods were analyzed.

Relative renal function, glomerular filtration rate and mean transit time were selected as clinical parameters for the analysis of the effect of ROI and the analysis tools were designed with the programming language of IDL5.2. To obtain renal scintigraphy, ^{99m}Tc -DTPA was injected to the 11 adults of normal condition and to study the inter-operator variability, 9 researchers executed the analyses. The calculation of threshold using the gradient value of pixels and border tracing technique were used to define renal ROI and then the background ROI and aorta ROI were defined automatically considering anatomical information and pixel value.

The automatic methods to define renal ROI were classified to 4 groups according to the exclusion of operator's subjectiveness. These automatic methods reduced the inter-operator variability remarkably in comparison with manual method and proved the effective tool to obtain reasonable and consistent results in analyzing the renal scintigraphy quantitatively.

Key words : Renal scintigraphy, Quantification analysis , Automated region of interest, Inter-operator variability