▸원 저◂

ISSN 1226-2854

핵의학 동적 신장팬텀시스템 개발 적용의 유용성 평가

- Development of Dynamic Kidney Phantom System and its Evaluation of Usability of Application in Nuclear Medicine -

신구대학교 방사선과 · 필립스 헬스케어[1] · 한국의학연구소[2] · 남부대학교 방사선학과[3]

박훈희 · 이주영[1] · 김상욱[2] · 유광열 · 진계환[3]

— **국문초록** —

핵의학 검사 중 동적신장검사는 신장기능을 평가하는 가장 대표적인 검사법으로 방사성의약품을 이용하여 시간에 따른 신장의 기능을 평가하고 소변이 배설에 이르기까지의 질환 평가에 유용하다. 이러한 검사영상의 질 평가 및 정량분석에서 현재 상용화 된 팬텀은 정적 상황만 재현하고 평가할 수 있기 때문에 동적 팬텀을 통한 시간에 따른 신장의 기능적 상황과 혈류속도, 방사성의약품의 주입량에 따른 다양한 차이 등을 확인 할 수 있는 연구가 미비한 상황이다. 그러므로 본 연구를 통해 동적 신장팬텀시스템을 제작하여 신장의 동적 흐름을 통한 영상을 재현함으로써 핵의학에서 영상학적으로 유용성을 평가하고자 한다.

신장팬텀은 정상 성인 신장을 기준으로 제작하였고, 동적 상황을 재현하기 위하여 혈류의 속도를 조절할 수 있는 정량펌프를 적용하였으며, ^{99m}Tc-pertechnate를 신장팬텀에 방사성의약품이 집적되고 방광으로 배설되도록 제작하였다. 사용된 방사성의약품은 각 신장팬텀에 각각 주입되도록 하였으며, 주입속도, 방사성의약품, 좌우 신장 팬텀에 다른 주입속도에 따른 변화를 확인하였다. 획득한 영상의 분석은 전면상과 후면상 각각의 신장과 방광에 관심영역을 그려 분석하였으며, 재현성을 확인하기 위하여 각 5회씩 반복하여 분석하였다.

주입속도 변화에 대해 30 stroke으로 펌프의 압력을 조절하였을 때 방사성의약품이 신장팬텀에 가장 많이 집적되었다가 배출되었고, 40 stroke으로 조절하였을 때 가장 적게 집적되었다가 배출되었다. 10 stroke으로 조절한 경우 좌우신장의 집적량이 최고치에 도달하지 못하였다. 방사성동위원소의 양에 따른 변화에서는 0.6 mCi (22.2 MBq), 0.8 mCi (29.6 MBq) 모두 유사한 성향을 나타냈으나, 0.8 mCi 를 주입한 결과에서는 0.6 mCi 의 두배에 가까운 수치(count)를 나타냈다. 좌측신장모형은 20 stroke, 우측신장모형은 30 stroke으로 다른 조건으로 시행한 결과, 최고점에 이른 시간이 각각 다르게 형성되었으며, 이는 결과 영상에서도 육안으로 쉽게 구분할 수 있었다.

본 연구를 통하여 동적 신장팬텀시스템이 실제 임상의 동적 신장검사를 유사하게 재현이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 특히 신장을 통해 방광으로 배설되는 흐름에 대해 시간에 따른 묘사가 충분하게 재현되었으며, 동적 영상의 질을 확인하는데 기초 자료로 활용이 가능하리라 사료된다. 또한 추후 기능적 영상 분야에 연구 및 정도관리 분야에도 도움이 되리라 여겨진다.

중심 단어 : 동적 신장팬텀, 팬텀 개발, 방사성의약품

* 접수일(2013년 2월 12일), 1차 심사일(2013년 2월 15일), 확정일(2013년 3월 7일)

* 본 논문은 신구대학교 산학협력단의 교원연구역량강화사업의 지원과 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 연구지원프로그램으로부터 지원받았습니다. (연구과제코드: 2011-0010310)

교신저자: 진계환, (506-706) 광주광역시 광산구 월계동 864-1
남부대학교 방사선학과
Tel : 062-970-0159, CP : 010-9558-2220
E-mail: ghjin@nambu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

핵의학 검사 중 신장(Kidney)의 기능을 평가하는 가장 대표적인 검사는 감마카메라(Gamma Camera)를 이용한 동적 신장검사로서 신장에 섭취되고 배설되는 과정을 동적으로 영상화하는 방법이다.

신장의 기능은 대사노폐물을 배설하고, 수분 및 전해질이 체내에 일정한 상태가 유지시키며, 그 외에도 내분비기관으로 신장 내 혈역학 조절, 조혈기능, 칼슘대사에 관여한다. 소변의 형성은 신장의 가장 중요한 기능으로서 이를 통하여 체내 항상성을 유지할 수 있다. 신장에는 혈액이 1분에 약 1200 ml로 흐르며, 이는 심장박출량의 약 20~25% 이며, 이 중에서 혈장은 약 600 ml이다. 이 혈액이 사구체를 통하여 여과되는 양은 하루 약 180 l 이며, 이것이 신장세뇨관을 거치면서 재흡수, 분비와 농축 등의 과정을 거쳐 99%는 재흡수 되고, 하루 약 1~2 l의 소변을 배설하게 되며 혈액 중 75%는 피질로 25%는 수질로 공급된다[1].

동적 신장검사는 신장질환을 판별하는 검사에서 가장 대표적인 검사법으로서 방사성의약품을 이용하여 시간에 따른 신장의 기능을 평가하고 소변이 배설에 이르기까지의 질환 평가에 유용하다. 그러므로 신장 질환에서 요로패쇄, 이식신장의 정상활동여부, 신장성 고혈압 등 신장 기능 확인에는 임상에서 널리 활용되는 검사법으로 이미 해외뿐 아니라 국내에서도 그 활용이 증대되고 있다. 이러한 이유로 동적 영상의 활용은 진단영역의 확대와 핵의학 기술의 발달에 기여해 왔으며, 특히 기능적 정보를 확인 할 수 있는 검사이기 때문에 의학 및 영상기술발전에 많은 공헌을 하고 있다[2].

동적 신장검사는 신장에 섭취되고 배설되는 ^{99m}Tc-DTPA나 ^{99m}Tc-MAG_3을 정맥주사 후 신장과 비뇨관을 동적으로 영상화하는 방법이다[3]. 얻어진 영상은 정량분석을 통하여 신장기능을 평가하게 되며, 이미 다양한 프로그램을 통한 정량분석이 이루어지고 있다. 현재 상용화된 프로그램은 여러 가지 기본적인 신장 분석 기능을 포함하고 있지만, 실제 임상에서 각각 다른 상황을 정확한 평가하는데 한계를 가지며, 그렇기 때문에 최근 몇 년간 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구들이 소개되었다[4]. 하지만 신장의 깊이, 혈류 속도, 방사성의약품 주입량, 각기 다른 장비에 따른 요인 등은 깊이 고려 되지 못한 실정이며, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 임상환자를 대상으로 하기에는 그 다양한 요인을 모두 포함할 수 없으며, 같은 환자를 대상으로 하더라도 동일한 상황을 재현할 수 없기에 팬텀(Phantom)을 이용한 연구가 가장 이상적이라 할 수 있다. 그러나 대부분 상용화된 팬텀은 정적 상황만을 재현하고 평가할 수 있으므로, 동적 팬텀을 통한 시간에 따른 신장에서 기능적 상황과 혈류속도, 방사성의약품의 주입량에 따른 다양한 차이 등을 확인 할 수 있는 팬텀 및 시스템에 관한 연구가 미비한 상황이다. 그러므로 본 연구를 통해 동적 신장팬텀 시스템을 제작, 적용하여 신장의 동적 흐름을 통한 영상을 재현함으로써 핵의학 영상학적으로 유용성을 평가하자 한다.

Ⅱ. 대상 및 방법

1) 신장팬텀 제작

신장팬텀(Kidney phantom)의 제작은 정상 성인 신장을 기준으로 제작하였으며, 평면영상의 획득을 목적으로 신장에서 방사성의약품이 일정시간 집적되었다가 배설될 수 있는 구조로 제작하였다. 아크릴(Arcrylic)의 두께는 1 cm, 장축은 10 cm으로 두께를 제외하고 내부는 8 cm으로, 횡축은 6 cm으로 두께를 제외하고 4 cm으로 제작하였다. 높이는 6 cm으로 두께를 제외하고 4 cm으로 하였으며, 전체적인 형상은 기본적인 신장모형을 기반으로 하였다(Fig. 1). 또한 동적 영상의 재현을 위하여 두 개의 홀(hole)을 형성하여 방사성동위원소의 투입구와 배출구로 구분하였으며, 투입된 방사성동위원소가 투입되는 압력을 통해 배출구로 이동하여 방광으로 자연스럽게 배출될 수 있도록 제작하였다(Fig. 2).

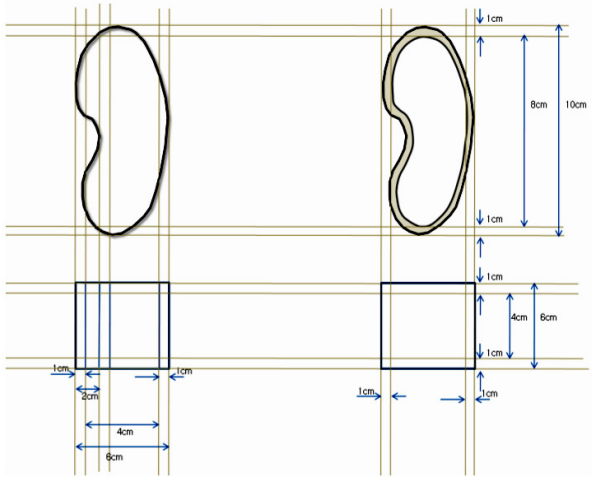


Fig. 1. Left & right two kidney phantoms of the form of a plane were made based on a normal adult kidney.

Fig. 2. It has devised in completion of acrylic phantom and outlet & inlet.

2) 동적 신장팬텀 시스템의 모델링

제작된 신장팬텀을 기본으로 동적 상황을 재현하기 위하여 혈류의 속도를 조절할 수 있는 정량펌프를 적용하였다. 정량펌프는 디지털 Iwaki Metering Pump (IWAKI, Japan)을 사용하였으며, 유속(Flow Rate)을 38~420 ml/min까지 조절이 가능하여 혈류 상황을 조건에 맞게 수신증, 요로폐쇄, 신장성 고혈압 등 조건을 적용할 수 있도록 고안하였다.

방사성동위원소가 최초 펌프를 통해 유입되고 신장팬텀의 투입구를 통해 유입된 후 신장 전체에 집적되고, 이후 펌프의 압력에 의해 배출구를 통해 방광으로 이동할 수 있도록 방향을 설정하였다. 신장을 거쳐 방광으로 배설되는 과정을 전체적으로 묘사할 수 있도록 하였으며, 신장에서의 집적 외에도 신장검사에서 중요하게 다루어지는 방광량의 측정이 가능하도록 설계하였다. 또한 핵의학의 감마카메라의 시야(Field of View)에 신장과 방광을 모두 포함하여 실제 임상의 조건과 유사하게 고안하였다(Fig. 3).

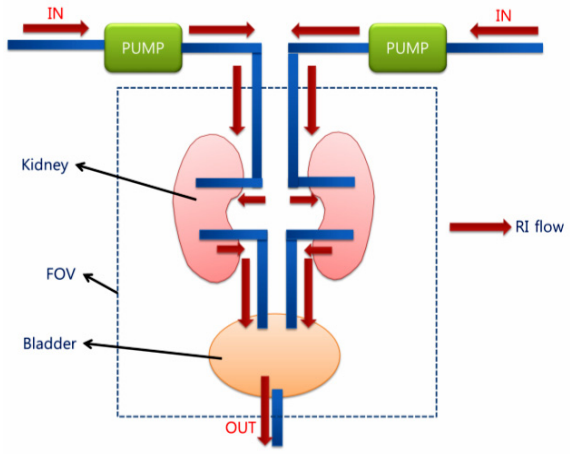


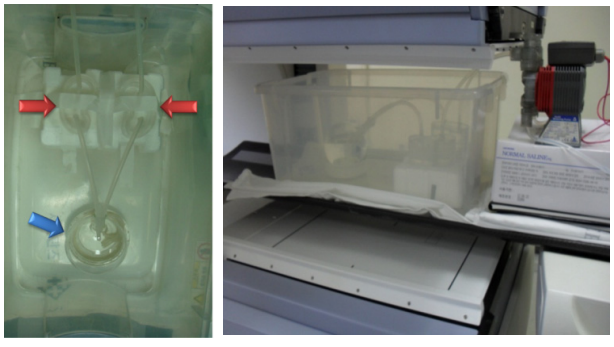
Fig. 3. Modeling of the dynamic kidney phantom system: The arrows represent the flow of radioactive isotopes.

3) 영상획득

실제 임상에서는 ^{99m}Tc-DTPA, ^{99m}Tc-MAG$_3$의 방사성의약품이 주로 사용되지만, 인체에 기전을 통하지 않기 때문에 동적 신장팬텀 시스템에서는 ^{99m}Tc-pertechnate를 이용하여 신장에 방사성의약품이 지속적으로 집적할 수 있도록 하였고, 사용된 방사성의약품은 두 개의 펌프를 통해 공급되었다.

감마카메라는 Infinia (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA) 장비를 사용하였고, 조준기는 저에너지 고분해능용, 화소수는 512×512, 에너지창의 크기 및 폭은 140 keV ± 10%를 적용하였다.

동적 신장영상의 획득을 위하여 두 부분(Phase)으로 구분하여 획득하였으며, Phase I 획득을 위하여 150 frame을 2 sec 간격으로 5 min 획득하였으며, Phase II 획득을 위하여 30 Frame을 10 sec 간격으로 5 min간 영상을 획득하여 총 10 min간의 영상을 획득하였다(Fig. 4).



A B

Fig. 4. The modeling of the dynamic kidney phantom system: The arrows represent the flow of radioactive isotopes.
(A : red arrow (kidney), blue arrow (bladder), B: dynamic kidney phantom system)

4) 실험방법

(1) 주입속도에 따른 변화

동일 장비를 대상으로 주입속도만을 변화하여 각각의 펌프를 통해 동적 신장팬텀시스템을 가동하였다. 각 펌프에서는 10, 20, 30, 40 stroke의 동일한 조건으로 주입(pumping)하였고, 다른 조건을 동일하게 유지하였다.

(2) 방사성의약품의 주입량에 따른 변화

동일 장비를 대상으로 방사성의약품의 주입량을 변화하

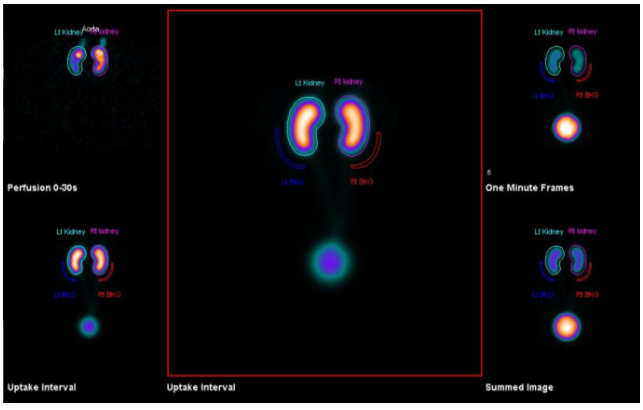


Fig. 5. Renogram analysis in Xeleris Functional Imaging Workstation

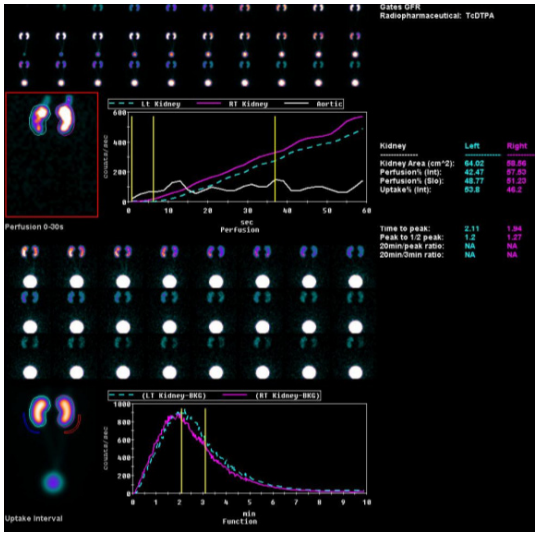


Fig. 6. Acquired images were analyzed by the same renogram assay with clinical.

여 각각의 펌프를 통해 동적 신장팬텀시스템을 가동하였다. 첫 번째는 실험에서는 0.6 mCi (22.2 MBq)를 100 ml에 희석하여 투입하였고, 두 번째 실험에서는 0.8 mCi (29.6 MBq)를 100 ml에 희석하여 투입하였고, 다른 조건을 동일하게 유지하였다.

(3) 좌, 우 다른 주입 속도에 따른 변화

동일 장비를 대상으로 좌, 우측의 주입속도를 변화하여 동적 신장팬텀시스템을 가동하였다. 좌측에서는 20 stroke, 우측에서는 30 stroke의 다른 조건으로 주입하였으며, 다른 조건을 동일하게 유지하였다.

5) 영상 분석

획득한 영상의 분석은 Xeleris Functional Imaging Workstation ver. 2.1220 (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA)을 사용하여 전면상과 후면상의 각각의 신장과 방광에 각 5회씩 관심영역(Region of Interest)을 그려 분석하였다(Fig. 5). 좌우신장과 방광의 관심영역은 각 95 pixel로 일정하게 유지하였으며, 7422.49 mm^2로 동일하게 설정하였다. 또한 임상의 동적 신장검사와 동일한 방법으로 분석하였다(Fig. 6). 각 실험은 통계분석을 통해 유의성을 확인하였다.

III. 실험결과

주입속도에 따른 변화를 확인한 결과 10, 20, 30, 40 stroke으로 변화를 주었을 때 우측신장(Right Kidney)과 좌측신장(Left Kidney)은 신장에 집적 후 방사성의약품이 배출되는 양상을 나타냈고, 반면에 방광에서는 배출된 방사성의약품이 집적되는 양상을 보였다. 이는 임상에서의 보편적인 동적 신장검사 영상과 동일한 양상을 나타냈다. 주입속도에 따라서는 30 stroke으로 펌프의 압력을 조절하였을 때 방사성의약품이 가장 많이 집적되었다가 배출되었고, 40 stroke으로 조절하였을 때 가장 적게 집적되었다가 배출되었다. 10 storke으로 조절한 경우 좌우신장의 집적량이 최고치에 도달하지 못하였다. 실제 임상 영상의 동적 흐름과 비교하여 가장 유사한 주입속도는 20, 30 stroke로 조절한 경우에 해당되었다(Fig. 7).

방사성의약품의 주입량의 변화는 희석한 동위원소를 양쪽에 펌프에 동일하게 주입한 결과 0.6 mCi (22.2 MBq), 0.8 mCi (29.6 MBq)모두 유사한 성향을 나타냈으나, 0.8 mCi 를 주입한 결과에서는 0.6 mCi의 두 배에 가까운 수치(count)를 나타냈다(Fig. 8).

좌측신장모형의 주입속도를 20 stroke, 우측신장모형의 주입속도를 30 stroke의 다른 조건에서 최고점에 이른 시간이 각각 다르게 형성되었고, 이는 결과 영상에서도 육안으로 쉽게 구분이 가능했다(Fig. 9).

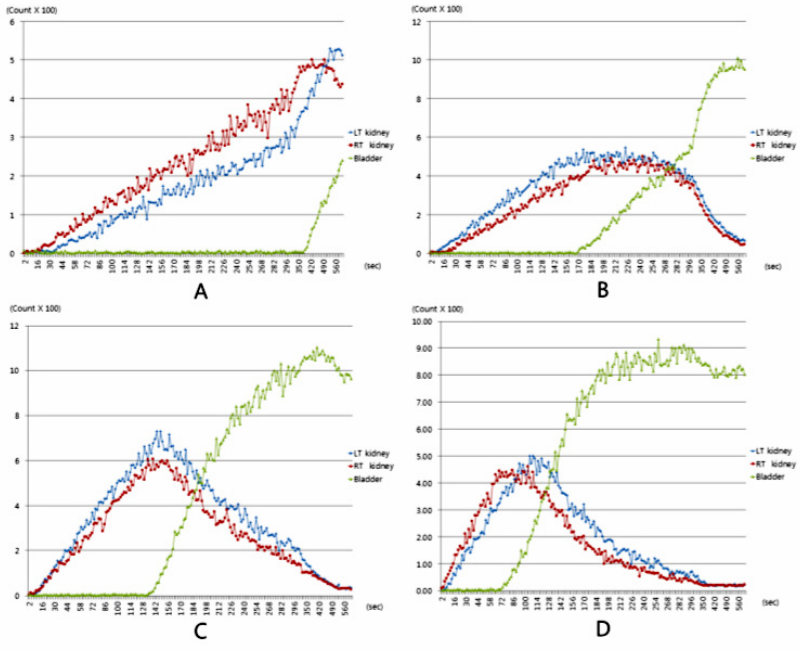


Fig.7. Changes according to infusion rate (A : 10 stroke, B : 20 stroke, C : 30 stroke, D : 40 stroke)

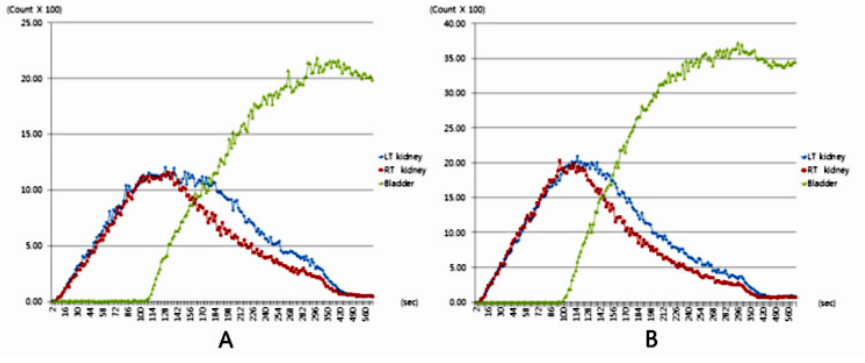


Fig. 8. Changes according to the amount of radioactive isotopes (A : 0.6 mCi, B : 0.8 mCi)

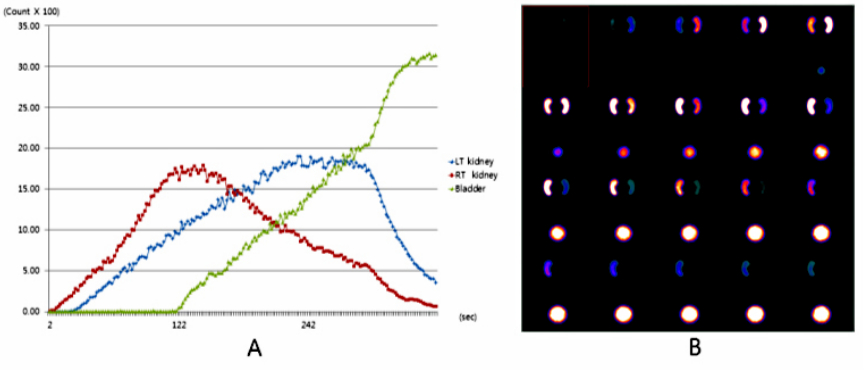


Fig. 9. Changes according to the difference infusion rate on left, right (A : Changes according to infusion rate, B : Image of the dynamic kidney)

IV. 결론 및 고찰

현재 우리나라의 핵의학 영상기기 및 정도관리 분야의 실태 조사에 따르면, 핵의학 정도관리의 일부분인 분해능(Resolution)팬텀은 성능평가와 정도관리를 시행하는데 있어 매우 유용하나 이는 모두 외국에서 수입해 와야 하며 가격이 매우 비싸기 때문에 직접 제작하거나 단체 주문 등의 방법이 제시되고 있는 실정이다.

핵의학 영상기기의 정도관리 표준화 체계 구축을 위한 연구에 따르면, 팬텀을 이용한 기기 성능 및 영상 화질 평가는 팬텀 구입의 어려움, 표준화된 팬텀에 대한 체계적 확립의 미흡 등 애로점으로 있으므로 연구를 계속 추진하여 안정화된 팬텀 평가 방법에 대한 문제가 제기되고 있다.

Karagoz 등은 동적 신장팬텀의 적용을 통해 임상 정보와 유사한 기능 정보를 확인 할 수 있고[5], Celler 등은 혈류속도을 변화시킬 수 있는 팬텀을 제작하여 적용함으로 장비의 품질관리에 적용이 가능하다고 주장하였다[6]. Houston 등은 다양한 동적 상황을 재현할 수 있는 팬텀을 적용하여 정량화 할 수 있고[7], 동적 신장팬텀의 적용을 바탕으로 다양한 인체의 기능을 평가할 수 있는 전신 팬텀의 제작이 가능 할 수 있고, 연구가 더욱 강조되어야 할 것을 제안하였다[8].

본 연구는 핵의학의 정도관리 분야에 적용이 가능한 기술로써 국산화 된 동적 팬텀이 전무한 상황에서 장비의 성능 및 영상화질의 평가가 가능하고 팬텀을 이용한 정도관리 정착에 도움이 되리라 사료된다. 이와 같은 동적 팬텀시스템의 활용은 핵의학 기술 발전에 기여하리라 기대되며, 영상의 품질관리에 대해 표준이 정해지지 않은 상황에서 동적 신장팬텀시스템을 활용한 다양한 연구를 기대할 수 있으며, 영상의 품질관리에 크게 기여할 것으로 사료된다.

본 연구를 통하여 동적 신장팬텀 시스템이 실제 임상에서의 동적신장검사를 유사하게 재현이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 특히 신장을 통해 방광으로 배설되는 흐름의 변화에 대해 시간에 따른 묘사가 충분하게 재현되었으며, 동적 영상의 질을 확인하는데 기초 자료로 활용이 가능하리라 사료된다. 또한 추후 기능적 영상 분야에 연구 및 정도관리 분야에도 도움이 되리라 여겨진다.

참고문헌

1. C. Miyazaki, H. Harada, et al.: ^{99m}Tc-DTPA dynamic SPECT and CT volumetry for measuring split renal function in live kidney donors, Ann Nucl Med, 24, 189~195, 2010
2. Ying-Chun Ma, Li Zuo, et al.: Comparison of ^{99m}Tc-DTPA renal dynamic imaging with modified MDRD equation for glomerular filtration rate estimation in Chinese patients in different stages of chronic kidney disease, Nephrol Dial Transplant, 22, 417-423, 2007
3. R.D. Folks, E. V .Garcia, A. T. Taylor : Development and Prospective Evaluation of an Automated Software System for Quality Control of Quantitative ^{99m}Tc-MAG_3 Renal Studies, J Nucl Med Technol, 35, 57-33, 2007
4. J.O. Heikkinen : New Automated Physical Phantom for Renography, J Nucl Med, 45, 495-499, 2004
5. I. Karagoz, O. Erogul, et al.: A new dynamic renal phantom and its application to scintigraphic studies for pixel basis functional radionuclide imaging, 20, 473-479, 1998
6. A Celler, T Farncombe, et al.: Performance of the dynamic single photon emission computed tomography (dSPECT) method for decreasing or increasing activity changes, Phys Med Biol, 3525-3543, 2000
7. A.S. Houston, D.R. Whalley et al.: UKaudit and analysis of quantitative parameters obtained from gamma camera renography, Nuclear Medicine Communications, 22, 559-566, 2001
8. J.O. Heikkiene, J.T. Kuikka, A.K.A. Ahonen, P.J. Rautio : Quality of dynamic radionuclide renal imaging:multicentre evaluation using a functional renal phantom, Nuclear Medicine Communications, 22, 987-995, 2001

• Abstract

Development of Dynamic Kidney Phantom System and its Evaluation of Usability of Application in Nuclear Medicine

Hoon-Hee Park · Juyoung Lee[1] · Sang-Wook Kim[2] · Kwang Yeul Lyu · Gye Hwan Jin[3]

Dept. of Radiological Technology, Shingu College

[1] *Dept. of Molecular Imaging, Philips Healthcare*

[2] *Dept. of Diagnostic Radiology, Korea Medical Institute*

[3] *Dept. of Radiological Science, Nambu University*

Currently, commercially available phantom can reproduce and evaluate only a static situation, the study is incomplete research on phantom and system which is can confirmed functional situation in the kidney by time through dynamic phantom and blood flow velocity, various difference according to the amount of radioactive. Therefore, through this study, it has produced the dynamic kidney phantom to reproduce images through the dynamic flow of the kidney, it desires to evaluate the usefulness of nuclear medicine imaging.

The production of the kidney phantom was fabricated based on the normal adult kidney, in order to reproduce the dynamic situation based on the fabricated kidney phantom, in this study, it was applied the volume pump that can adjust the speed of blood flow, so it can be integrated continuously radioactive isotopes in the kidney by using ^{99m}Tc-pertechnate. Used the radioactive isotope was supplied through the two pump. It was confirmed the changes according to the infusion rate, radioactive isotopes and the different injection speeds on the left and right, analysis of the acquired images was done by drawn five times ROI in order to check the reproducibility of each on the front and rear of the kidney and bladder.

Depending on the speed of injection, radioisotope was a lot of integrated and emissions up when adjusting the pressure of the pump as 30 stroke, it was the least integrated and emissions up when adjusting as 40 stroke. The integration of the left & right kidney was not reached in the amount of the highest when adjusting as 10 stroke. In the changes according to the amount of the radioactive isotope, 0.6 mCi(22.2 MBq), 0.8 mCi (29.6 MBq)was showed up similar tendency but, in the result of the different injection 0.8 mCi, it was showed up counts close to double of 0.6 mCi. In the result of the differently injection speed of the left & right kidney, as a result of different conditions that injection speed was 20 stroke through left kidney phantom, the injection speed was 30 stroke through right kidney phantom, it was enough difference in the resulting image can be easily distinguished with the naked eye.

Through this study, the results showed that the dynamic kidney phantom system is able to similarly reproduce renogram in the actual clinical practice. Especially, the depicted over time for the flow to be excreted through the kidney into the bladder was adequately reproduce, it is expected to be utilized as basic data to check the quality of the dynamic images. In addition, it is considered to help in the field of functional imaging and quality control.

Key Words : Dynamic Renal Scintigraphy, Phantom Invention, Radiopharmaceuticals