



Scintigraphic Assessment of Renal Function Using 99m Tc-DTPA in Miniature Pigs with Unilateral Ureteral Obstruction

Se Eun Kim¹, Kyung Mi Shim², Won Guk Lee³, Seok Hwa Choi⁴, Soo Hyun Park¹,
Ho Jae Han¹ and Seong Soo Kang^{1,*}

¹College of Veterinary Medicine and Biotechnology Research Institute, Chonnam National University, Gwangju, Korea

²Department of Radiology, Nambu University, Gwangju, Korea

³Department of Nuclear Medicine, College of Medicine, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

⁴College of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

This study was performed to investigate the proper method for evaluating renal function in miniature pigs with unilateral ureteral obstruction. Experimental unilateral renal damage was induced after ligation of unilateral right ureter in 3 miniature pigs. On the 3rd post-operative day, scintigraphic images were obtained after 12 mCi of 99m Tc-diethylenetriamine pentaacetate (DTPA) intravenous injection. Renography showed that radiopharmaceutical uptakes in the right kidney were lower than those of left kidney uptakes as early as at 3 days after surgical operation. The static images of 99m Tc-DTPA enabled us to measure the relative renal function in miniature pigs with unilateral ureteral obstruction. In conclusion, renography using 99m Tc-DTPA was the useful diagnostic method to evaluate the renal function in miniature pigs.

Key words: 99m Tc-diethylenetriamine pentaacetate (DTPA), unilateral ureteral obstruction, renogram, miniature pig

(Received 11 November 2009; Revised version received 9 March 2010; Accepted 18 March 2010)

최근 영상진단분야의 눈부신 발전으로 다양한 장비와 진단 방법을 통해 신장관련 질환을 평가하고 진단할 수 있다. 그 중 일반방사선 사진은 신장의 크기, 형태, 윤곽 및 방사선불투과성 등의 측정항목에 기초하여 신장의 형태학적 변화를 측정한다(Feeny and Johnston, 1998). 그러나 신장은 일반방사선상에서 기능을 평가하기가 곤란 하므로 그와 관련된 정보가 필요할 때는 초음파나 배출성요로조영술(excretory urogram)을 실시할 수 있으나 신장조영촬영으로 합병증이 발생할 수 있다. 또한 초음파 검사는 쉽게 형태학적 변화를 진단할 수 있는 검사법으로 비침습적이고, 반복 검사가 가능하다는 장점이 있으나 신장 기능평가 시에는 보편적으로 이용되고 있지 않다.

신기능 평가에서 사구체여과율(Lee et al., 2006)은 각각 nephron의 총합이므로 신장의 기능을 평가하는데 매우 유용한 지표이다. 사구체여과율을 측정하는데 있어 크레아티닌 청소율이 흔히 사용되나 요체취 및 검사방법 오

차 등의 단점이 있고, 이눌린 청소율(inulin clearance)은 가장 이상적인 방법이나 검사방법이 임상영역에서 쉽게 실시할 수 없다는 단점이 있다(Lee et al., 1995). 따라서 최근에는 동위원소를 이용한 사구체여과율의 평가방법이 널리 이용되고 있다. 핵의학적 영역에서는 비침습적으로 신기능을 평가하기 위해 여러 가지 방사성의약품을 이용한 방법을 시도하여 왔고, 그 중에서 99m Tc-dimercaptosuccinic acid (DMSA)는 주로 근위세뇨관세포에 섭취되어 그 섭취 정도는 현재 기능을 하고 있는 신피질의 양과 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Rushton et al., 1988). 99m Tc-DMSA는 주사 후 일정시간에 양측신장의 신섭취율을 측정하여 좌우신의 개별적 신기능을 비교하는 진단방법으로(Ardela et al., 2002), 양측신의 기능을 비교하고 손상된 편측 혹은 양측신의 치료 후 경과를 관찰하는데 사용되고 있다(Hitzel et al., 2004). 99m Tc-diethylenetriamine pentaacetate (DTPA)는 대부분이 사구체여과를 통하여 배설되고 소량만이 신세뇨관을 통해 배설되며 사구체여과율 측정 및 레노그램에 이용되고 있으며(Taylor, 1999), 충북대학교 연구팀과의 예비실험을 통하여 99m Tc-DMSA의 상대적 신섭취율과 99m Tc-DTPA의 상대적 신장배설율과 밀접한 상관관계가 있음을 토끼의 요관결찰 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 또한 임상에서의 요관폐색은 기능적

*Corresponding author: Seong Soo Kang, Department of Veterinary Surgery, College of Veterinary Medicine, Chonnam National University, 300 Yongbong-Dong, Buk-gu, Gwangju, 500-757, Korea

Tel: +82-62-530-2877

Fax: +82-62-530-2809

E-mail: vetkang@chonnam.ac.kr

평가가 어려우므로 요관이 확장되어 있을 때 폐색 여부에 대한 의문이 제기되며 초음파 검사, 배설성 요로조영술 또는 다른 방사선학적 검사가 항상 적절한 정보를 제공하는 것은 아니다. 따라서 본 연구에서는 미니돼지에서 ^{99m}Tc -DTPA를 순간 주사하여 신장에서 관류영상과 배설 영상을 획득하여 일측성 요관 폐색의 진단적 정확도를 알아보고, 상대적 신장배설율과 상대적 신장섭취율을 측정함으로써 신기능 평가의 유용성을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험동물

실험동물은 PWG Genetics Korea 사의 수컷 SPF 미니돼지(35-45 kg) 3마리를 구입하여 사용하였다. 본 실험에 앞서 실험 전 일주일의 적응기간을 두었으며 사육환경은 온도 $23\pm2^\circ\text{C}$, 상대습도 $55\pm10\%$ 로 유지하였고 충분한 양의 물과 사료를 공급받으면서 돼지용 사육 케이지에 한 마리씩 사육되었다. 동물의 사육과 실험은 전남대학교 동물실험 지침에 따라 수행되었다(CNU IACUC-YB-R-2008-29).

일측성 요관결찰 수술

미니돼지는 실험 12시간 전에 절식 및 절수를 실시하였으며, 전마취는 xylazine hydrochloride(럼풀®, 바이엘코리아) 2.2 mg/kg과 tiletamine/zolazepam(Zoletil 50®, Virbac Korea) 5 mg/kg을 합제하여 근육주사 하였다. 그 후 이정맥에 정맥라인을 확보하고 lactated ringer's solution을 10 mL/kg/hr로 정맥주사하였고 atropine sulfate(황산아트로핀®, 제일제약) 0.05 mg/kg을 근육주사하였다. 마취 후 미니돼지를 양와위로 보정하고 복강의 정중절개를 통해 오른쪽 신장을 확인한 후 요관을 크기 1의 silk로 결찰하였다. 결찰 후 복강의 폐쇄는 크기 2의 흡수성봉합사(Surgisorb®, 삼양사)를 사용하여 단순결절봉합 하였으며, 피하는 크기 1의 흡수성봉합사(Surgisorb®, 삼양사)로 단순연속봉합 하였고 피부는 크기 2의 비흡수성봉합사(Supramide®, Ethicon)를 사용하여 단순결절봉합 하여 폐쇄하였다.

^{99m}Tc -DTPA Renography

일측성 요관결찰 수술 3일 후 레노그램을 실시하였다. 미니돼지는 실험 4시간 전에 절식하였으며, 전마취는 위와 동일하게 실시하였다. 검사 30분 전에 신장의 수화(hydration)를 위해 이정맥을 통해 300 mL의 lactated ringer's solution을 투여하였으며, 유지마취는 propofol(아네풀®, 하나제약) 0.2 mg/kg/hr를 일정속도주입법으로 정맥주사하여 실시하였다. 마취 후 미니돼지를 복와위로 보정하고, 영상의 획득을 위해 생리식염수 10 mL를 장착한 Three way stop cock를 이용하여 ^{99m}Tc -DTPA 12 mCi를

이정맥을 통하여 순간주사하였다. 방사성의약품의 투여와 동시에 Dual head 카마카메라(GE Infinia Hawkeye)를 사용하여 후면영상을 획득하였다. 영상은 phase I에서 화면당 2초 간격으로 처음 2분간의 동적영상을 획득하였고 그 후 phase II에서는 화면 당 20초 간격으로 30분간 동적영상을 획득하였다.

영상의 분석

^{99m}Tc -DTPA를 주사하고 연속적으로 얻은 영상에서 좌우 신장과 배후방사능에 관심영역(Region of interest, ROI)을 직접 그려 표시하였으며, 이를 통해 time-activity curve를 구하였다. 또한 획득한 동적영상을 통하여 ^{99m}Tc -DTPA가 배출되는 양상을 관찰하였다.

결 과

동적영상에서의 평가

관류영상에서는 초기 복부대동맥 방사능이 관찰된 후 4초 이내에 비장 영상이 나타나고 좌우 양측 신장이 대칭적으로 보이나 결찰을 시행한 우측신장이 정상적인 좌측신장 보다 상대적으로 섭취율이 낮게 관찰되었다. 최고 방사능값에 도달한 이후 좌측 신장은 정상적인 배설을 보이나 우측 신장은 점차 증가되는 양상을 보이다가 배설 영상에서는 더욱 뚜렷한 차이를 나타내었다(Figure 1 and 2).

그리고 정상 신장에서는 사람의 정상상과 유사하게 3분경에 피질방사능이 최대가 되었음을 확인할 수 있었고, 9-10분경에 신우의 방사능이 최대가 되었으며 피질의 방사능은 점점 줄어들고 요관을 통해 방광으로 빠져나간 방사성의약품이 4분경에 관찰되기 시작하여 점점 증가하는 것을 확인할 수 있었다(Figure 1 and 2). 그에 반해 요관결찰을 실시한 오른쪽 신장에서는 피질의 방사능이 느리게 증가하였으며 29-30분 사이에 최대 피질방사능을 보이나 요관폐색으로 인해 방사성의약품이 빠져나가지 못하고 피질 내 계속 정체되었으며 실질통과시간이 지연됨을 확인할 수 있었다(Figure 1 and 2).

육안적 검사나 관심구역에서 관찰된 신장의 크기는 왼쪽의 정상 신장보다 오른쪽의 일측성 요관결찰을 실시한 신장이 크기가 조금 더 증가한 것을 확인할 수 있었다(Table 1, Figure 1).

Time-activity curve에서의 평가

상대적 신장섭취율은 결찰한 우측 신장에서 36.30 ± 5.14 이었으며 정상적인 좌측신장은 63.70 ± 5.14 의 접적율을 보였고, 정상적인 좌측신장은 사람의 정상상과 유사하게 방사성의약품의 투여 후 3.14 ± 0.48 분에 최고방사능값을 보였으나 우측신장은 방사성의약품의 투여 후 요관폐색으

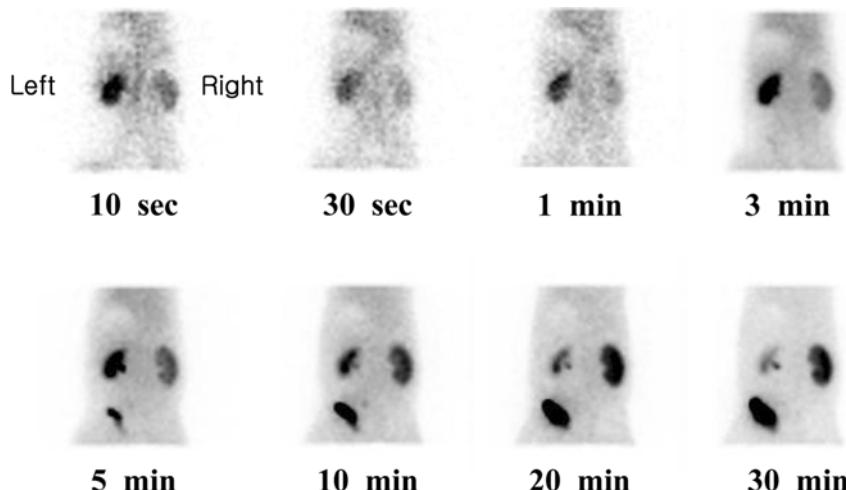


Figure 1. Dynamic images in a miniature pig with unilateral ureteral obstruction after intravenous injection of 12 mCi of ^{99m}Tc -DTPA (Left: normal kidney, Right: kidney with unilateral ureteral obstruction).

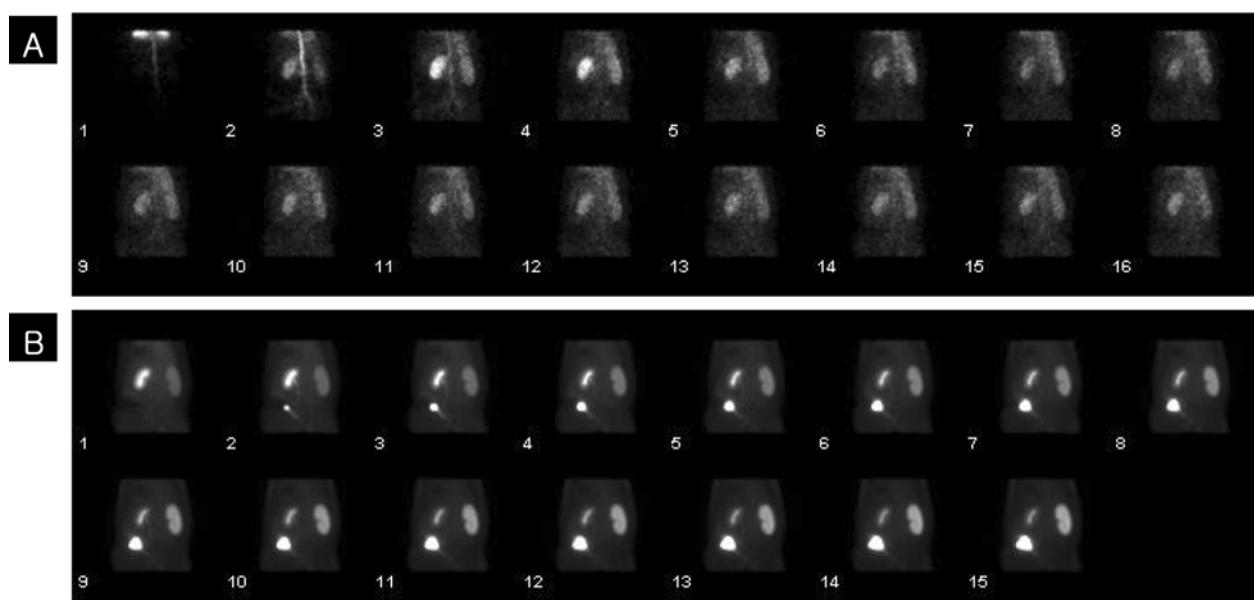


Figure 2. Posterior dynamic images of a miniature pig with unilateral ureteral obstruction following injection of ^{99m}Tc -DTPA. (A) perfusion phase, (B) excretion phase.

Table 1. Values derived from time-activity curve of renogram in miniature pigs (Mean \pm SD)

Parameter	Normal	Unilateral ureteral obstruction
Kidney area (cm^2)	65.97 ± 13.80	74.18 ± 22.08
Time of peak (min)	3.14 ± 0.48	31.75 ± 0.46
Excretion half time ($T_{1/2}$, min)	12.31 ± 0.25	NA
Uptake percentage	63.70 ± 5.14	36.30 ± 5.14

NA: non-available.

로 인해 방사성의약품이 빠져나가지 못하여 최고방사능값은 투여 후 31.75 ± 0.46 분에 도달하여 신기능의 이상소견을 보였다(Table 1, Figure 4). 그리고 중간방사능값에 도달한 시간은 정상 신장에서는 12.31 ± 0.25 분이었으나 우측 신장에서는 측정이 불가하였다(Table 1).

고 찰

신우뇨관이행부 폐색은 수신증을 유발하여 신기능장애를 초래하는 비교적 흔한 상부요로 질환으로 수신증이 서서히 진행되고 초기에는 증상이 없을 수도 있어 신실질

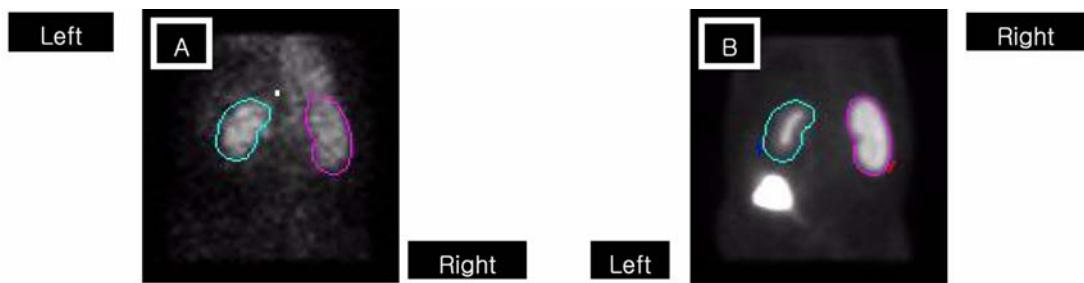


Figure 3. Schematic drawing of region of interest. (A) perfusion phase, (B) excretion phase (Left: normal kidney, Right: kidney with unilateral ureteral obstruction).

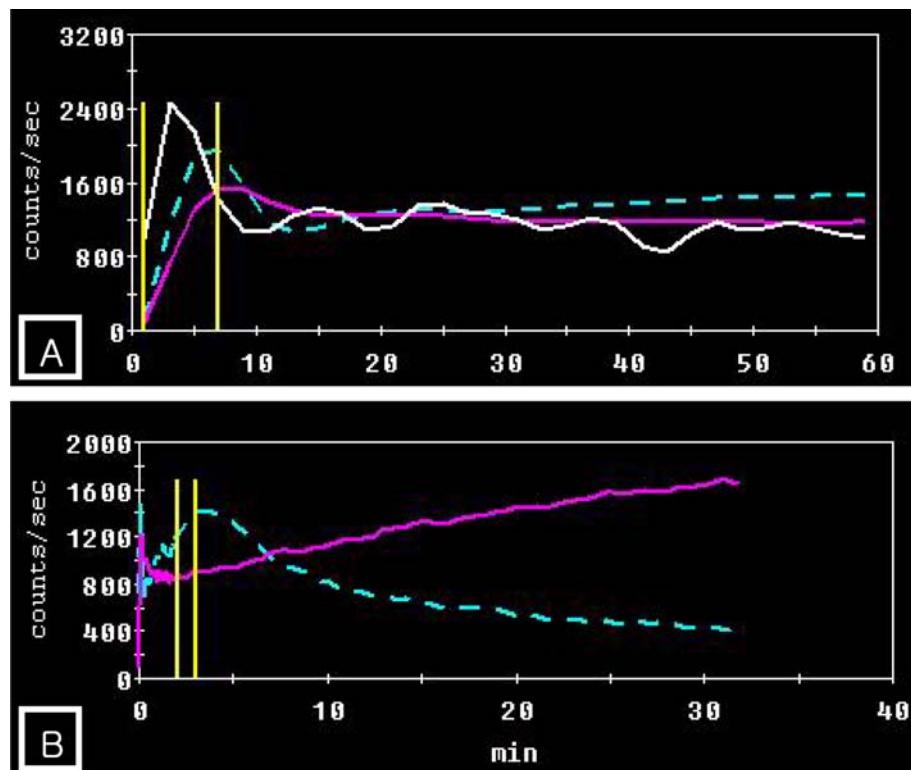


Figure 4. ^{99m}Tc -DTPA time-activity curves from a miniature pig with unilateral ureteral obstruction (Left: normal kidney, Right: kidney with unilateral ureteral obstruction). (A) perfusion time-activity curve (time: seconds), (B) excretion time-activity curve (time: minutes).

이 현저히 파괴된 후에야 발견되는 경우가 많다(Nam and Lee, 2006). 현재까지의 비침습적이면서도 효과적인 검사 방법으로는 초음파검사(Vanderpuye, 2002), 방사성 동위 원소를 이용한 신장스캔, 전산화 단층촬영(Braun et al., 2007) 등이 주로 시행되고 있는데(Lee, 2007), 그중에서 ^{99m}Tc -DTPA는 대부분이 사구체여과를 통하여 배설되고(Domingues et al., 2006) 소량만이 신세뇨관을 통해 배설되어 사구체여과율 측정에 매우 유용하다. 사구체여과율은 Gates (2004) 방법에 의하면 ^{99m}Tc -DTPA를 주사한 첫 2-3분 동안 신장 내에 축적된 방사능을 감마카메라로 측정한 후 양쪽 신장에 각각 관심영역을 설정하여 청소율을 구하는 방법이다. ^{99m}Tc -DTPA 주사 후 신장스캔에서

처음 보이는 신실질의 혈액풀 영상은 신관류와 세뇨관 기능을 같이 반영하기 때문에 혈액풀 영상 즉, 신혈류 영상으로 신기능을 평가할 수 있다(Hyun et al., 1999). 한편 ^{99m}Tc -DMSA는 신반흔을 찾는데 유용하며 과거의 감염에 의한 반흔 뿐 아니라 급성 신우신염에 의한 병변이 나타나므로 급성 신우신염의 진단에 도움이 되는 것으로 알려져 있다(Hitzel et al., 2002). ^{99m}Tc -DMSA의 신장스캔 영상은 technetium-99m이 부착된 DMSA가 근위 세뇨관 막에 전달되어 나타나며, 사구체여과율과 신내혈류량의 영향을 받는다. 따라서 과거 감염에 의한 반흔 뿐 아니라 급성 신우신염에 의한 병변이 나타나므로 요로감염증의 진단과 치료방침에 도움이 되나, 아직까지 임상에서의

적응증, 실시시기, 다른 검사와의 상관관계 및 신장 병변 소견의 해석방법 등에 대해 다양한 결과가 발표되고 있다(Park et al., 2001).

본 연구는 충북대학교 연구팀과의 예비실험을 통하여 ^{99m}Tc -DMSA의 상대적 신선크율과 ^{99m}Tc -DTPA의 상대적 신장배설율이 밀접한 상관관계가 있음을 토끼의 요관결찰 실험을 통하여 확인하였다. 본 실험에서 사용한 미니돼지는 신장은 구조나 크기 면에서 사람의 신장과 아주 유사하므로 신장이식이나 신장과 관련된 실험에서 많이 사용되고 있다(Valentin et al., 1999). 따라서 미니돼지에서 핵의학적인 방법을 통해 요관폐색 및 신기능을 평가하기 위한 방법으로 ^{99m}Tc -DTPA를 이용한 레노그램에서 상대적 신장배설율과 상대적 신선크율을 측정함으로써 신기능 평가에 유용한지를 알아보고자 수행하였다.

실험 결과 요관결찰 후 3일 째 촬영한 ^{99m}Tc -DTPA 레노그램 소견에서 요관이 폐색된 신장에 기능저하가 나타났음을 확인할 수 있었다. 대부분의 비뇨기과 질환은 요로폐색을 동반하여 결국엔 신기능장애를 초래한다. 요관폐색으로 상승된 요관 내 압력, 신혈류의 감소 등은 세포위축 및 괴사 등을 유발하며 요로폐색의 정도 및 기간, 감염유무 등에 따라 신손상의 정도는 다르게 나타날 수 있다. 요관의 완전폐색이 생기는 경우 초기에 대부분의 변화는 세뇨관에서 발생하게 되는데 여러 연구에 의하면 빠르면 3일째 피질의 간질조직에서 내강의 확장과 세포비후가 일어나고 간질세포 주위에 단핵구의 침윤이 발생한다. 10일째에는 확장된 간질내강에 간질세포, 임파구, 소수의 단핵구 등이 침윤되고, 콜라겐의 양이 증가한다고 한다(Okegawa, 1983).

임상증상이 발현되기 이전에 실시한 정상 왼쪽 신장에서는 초기 복부대동맥 방사능 관찰 후 4초 이내에 비장 영상이 나타났으며 3분경에 피질방사능이 최대가 되었고 4분경에 요도를 따라 방광으로 방사성의약품이 배출되는 양상을 확인할 수 있었으며 9-10분경 신우에서 최대 방사능선크를 나타내어 사람과 유사한 양상을 나타냄을 확인할 수 있었다(Lee, 1997). 또한 일측성 요관결찰을 실시한 오른쪽 신장에서는 방사성의약품의 피질선크가 느리게 증가하여 29-30분 사이에 최대 피질방사능을 보이면서 방사성의약품이 배설되지 못하고 피질 내 계속 정체되는 양상을 보였다. 이는 사람에서의 급성폐색 소견과 유사한 양상을 보임을 확인할 수 있었다(Lee, 1997). 그리고 한 연구에 의하면 폐색이 발생하여 신장이 손상되었을 때 방사성의약품의 실질통과시간이 길어지므로 실질통과시간이 폐색을 평가하는데 있어 중요한 역할을 수행한다고 보고하고 있다(Schlotmann et al., 2009).

Time-activity curve에서는 방사성의약품의 상대적 신장선크율이 정상 왼쪽 신장에서의 63.70 ± 5.14 에 비해 결찰한 우측 신장에서 36.30 ± 5.14 으로 선크율의 감소가 나타

나 우측 신장 기능에 이상이 있음을 알 수 있었다. 또한 최대방사능에 이르는 시간은 신장 실질통과시간의 신뢰성 있는 수치로서 알려져 있으며(Russel, 1994; Barthez et al., 1999), 이러한 시간이 길어질수록 사람에서는 신장 또는 요관의 폐색, 신동맥의 협착 및 신장 이식 거부 반응을 나타내는 것으로 보고되고 있다(Brown, 2004). 결과에서 보면 최대방사능에 이르는 시간이 정상 왼쪽 신장에서 3.14 ± 0.48 분에 비해 오른쪽 요관을 결찰한 신장에서 31.75 ± 0.46 분으로 상당히 느림을 확인할 수 있었고, 따라서 오른쪽 신장에 기능이상이 있음을 확인할 수 있었다. 본 실험 결과에서 ^{99m}Tc -DTPA를 이용한 신장의 핵의학 검사는 미니돼지에서 일측성 요관 결찰 후에 신장 기능을 평가하는데 매우 유용하였다. 수술적으로 폐색된 요관의 위치가 해부학적으로 일치하였으며, 신장의 병적상태가 조직학적으로만 진단되는 시기인 급성 폐색시기에 핵의학적 영상을 통하여 유용한 정보를 획득할 수 있었다. 결과적으로 미니돼지에서 ^{99m}Tc -DTPA를 이용한 신장의 핵의학 평가는 신장이식과 신장관련 수술 후에 발생하는 합병증의 진단 및 신기능평가에 유용하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 바이오그린 21 사업의 연구비 (Code#20070401034006) 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Ardela, D.E., Miguel Martinez, B., Gutierrez Duenas, J.M., Diez Pascual, R., Garcia Arcal, D. and Dominguez Vallejo, F.J. (2002) Comparative study of differential renal function by DMSA and MAG-3 in congenital unilateral uropathies. *Cir. Pediatr.* 15(3), 118-121.
- Barthez, P.Y., Smeak, D.D., Wisner, E.R., Duffey, M., Chew, D.J. and DiBartola, S.P. (1999) Effect of partial ureteral obstruction on results of renal scintigraphy in dogs. *Am. J. Vet. Res.* 60(11), 1383-1389.
- Braun, P., Pamies Guilabert, J. and Bou Alapont, M.J. (2007) Multislice CT arteriography in the pre-surgical evaluation of patients with ureteropelvic junction stenosis. *Radiologia* 49(2), 115-120.
- Brown, S.C.W. (2004) Nuclear medicine in the clinical diagnosis and treatment of obstructive uropathy. In: *Nuclear Medicine in Clinical Diagnosis and Treatment* (Murray, I.P.C. and Ell, P.J. ed.), 3th ed., pp 271-293, Churchill Livingstone, Edinburgh.
- Domingues F.C., Fujikawa, G.Y., Decker, H., Alonso, G., Pereira, J.C. and Duarte, P.S. (2006) Comparison of relative renal function measured with either ^{99m}Tc -DTPA or ^{99m}Tc -EC dynamic scintigraphies with that measured with ^{99m}Tc -DMSA static scintigraphy. *Int. Braz. J. Urol.* 32(4), 405-409.
- Feeny, D.A. and Johnston, G.R. (1998) The kidney and ureters. In: *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology* (Thrall, D.E. ed.), 2nd ed., pp.466-478, WB Saunders, Philadelphia.
- Gates, G.F. (2004) Filtration fraction and its implications for

- radionuclide renography using diethylenetriaminepentaacetic acid and mercaptoacetyltriglycine. *Clin. Nucl. Med.* 29(4), 231-237.
- Hitzel, A., Liard, A., Véra, P., Manrique, A., Ménard, J.F. and Dacher, J.N. (2002) Color and power doppler sonography versus DMSA scintigraphy in acute pyelonephritis and in prediction of renal scarring. *J. Nucl. Med.* 43(1), 27-32.
- Hitzel, A., Liard, A., Dacher, J.N., Gardin, I., Ménard, J.F., Manrique, A. and Véra, P. (2004) Quantitative analysis of 99mTc-DMSA during acute pyelonephritis for prediction of long-term renal scarring. *J. Nucl. Med.* 45(2), 285-289.
- Hyun, I.Y., Choe, W.S., Kim, M.J. and Cho, K.D. (1999) TC-99m DTPA estimation of renal function from perfusion images Tc-99m DTPA renal scan. *J. Korea Soc. Transplant* 18(6), 913-921.
- Lee, D.S. (1997) Kidney and urinary system. In: *Nuclear medicine* (Koh, C.S. ed.), 2nd ed., pp.513-522, Korea Medical Book Publisher, Seoul.
- Lee, J.B. (2007) Treatment of renal injury: practical approach. *Korean J. Urol.* 48(9), 885-896.
- Lee, J.K., Chun, H.K., Kim, S.J., Lee, S.H., Yang, C.W., Kim, Y.S., Choi, E.J., Chang, Y.S., Bang, B.K., Yang, W.J. and Chung, S.K. (1995) Clinical usefulness of GFR measured by 125I-iothalamate. *J. Kor. Med.* 49(5), 693-699.
- Lee, S.-R., Yoon, S.N., Lee, B.M., Oh, C.-K., Kim, S.J., Kim, H.S. and Shin, G.T. (2006) Changes of glomerular filtration rate of donated and remnant kidneys in a week after living donor kidney transplantation. *J. Korea Soc. Transplant* 20(1): 55-62.
- Nam, J.K. and Lee S.D. (2006) Comparison of the effectiveness of the renogram, the serial renal scan and the diuretic half time according to the renal function for interpreting a diuretic DTPA scan following pyeloplasty. *Korean J. Urol.* 47(4), 402-406.
- Okegawa, T., Jonas, P.E., DeSchryver, K., Kawasak, A. and Needleman, P. (1983) Metabolic and cellular alterations underlying the exaggerated renal prostaglandin and thromboxane synthesis in ureter obstruction in rabbits. Inflammatory response involving fibroblasts and mononuclear cells. *J. Clin. Invest.* 71(1), 81-90.
- Park, K.H., Lee, K.Y., Lee, H.S., Kim, S.Y., Han, J.W., Lee, I.J., Hwang, K.T. and Kwang, S.W. (2001) The usefulness of 99mTc-DMSA scan in acute pyelonephritis and vesicoureteral reflux in children. *J. Korean Nephrol.* 20(2), 263-269.
- Rushton, H.G., Majd, M., Chandra, R. and Yim, D. (1988) Evaluation of 99m technetium-dimercapto-succinic acid renal scans in experimental acute pyelonephritis in piglets. *J. Urol.* 140(5), 1169-1174.
- Russell, C.D. (1994) Measurement and interpretation of renal transit times. In *Nuclear Medicine in Clinical Diagnosis and Treatment* (Murray, I.P.C. and Ell, P.J. eds.), pp 241-245, Churchill Livingstone, Edinburgh.
- Schlotmann, A., Clorius, J.H. and Clorius, S.N. (2009) Diuretic renography in hydronephrosis: renal tissue tracer transit predicts functional course and thereby need for surgery. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging* 36(10), 1665-1673.
- Taylor, A. (1999) Radionuclide renography: a personal approach. *Semin. Nucl. Med.* 29, 102-127.
- Valentin, J.F., Lebranchu, Y. and Nivet, H. (1999) Can man live with a pig kidney? *Nephrologie* 20(4), 189-192.
- Vanderpuye, V. (2002) Renal sonography in the diagnosis of renal obstruction or hydronephrosis in patients with cervical cancer. *J. Clin. Ultrasound* 30(7), 424-427.