



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2017년 2월

2017년 2월
석사학위 논문

석사학위논문

이중에너지단층촬영을 이용한
요로결석 분석과 임상적 의의:
예비 실험적 검사와의 비교

이중에너지단층촬영을 이용한
요로결석 분석과
임상적 의의:
예비 실험적
검사와의
비교

조선대학교 대학원

의학과

윤은주

윤은주

이중에너지단층촬영을 이용한
요로결석 분석과 임상적 의의:
예비 실험적 검사와의 비교

Assessment of renal stones with dual energy CT
and clinical significance: comparison with
preliminary experimental study

2017년 2월 24일

조선대학교 대학원

의 학 과

윤 은 주

이중에너지단층촬영을 이용한
요로결석 분석과 임상적 의의:
예비 실험적 검사와의 비교

지도교수 김 동 훈

이 논문을 의학 석사학위신청 논문으로 제출함

2016년 10월

조선대학교 대학원

의 학 과

윤 은 주

윤은주의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 변 주 남 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 동 훈 (인)

위 원 조선대학교 조교수 오 형 우 (인)

2016년 11월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	vi
I. 서론	1
II. 대상 및 방법	1
III. 결과	3
IV. 고찰	4
V. 결론	7
참고문헌	8

표 목 차

표 1 _____ 11

표 2 _____ 12

표 3 _____ 13

그림 목 차

그림 1	_____	14
그림 2	_____	14
그림 3	_____	15
그림 4	_____	16
그림 5	_____	16

ABSTRACT

Assessment of urinary stones with dual energy CT and clinical significance: comparison with preliminary experimental study

Yoon Eun Ju

Advisor : Prof. Kim Dong Hun, M.D., Ph.D.

Department of Medicine

Graduate School of Chosun University

Objective : The aims of this study are to predict compositions of renal stones with dual energy CT and to compare with pathologic results of preliminary experimental study.

Methods : Seventeen patients (male:female = 11:6, mean age = 64.7 years) among 256 patients treated for suspicious urinary stones were included in this study. Non-enhanced multidetector CT (Aquilion one, Toshiba medical systems corporation, Japan) with dual energy were taken in all patients before operation. Attenuations of detected stones were measured on images taken from low energy (80 kVp) and high energy (135 kVp) by workstation. Uric acid and non-uric acid stones were categorized depending on attenuation value using the result of in vitro phantom model. Extracted stones were analyzed by using spectroscopy (Fourier Transform Infrared Spectrometry, FT-IR) and the compositions of stones confirmed pathologically were compared with those of dual energy CT scans.

Results : Stones with attenuation ratios below 1.1 were predicted to be uric acid stones and those more than 1.1 were predicted to be non-uric acid

stones based on result of preliminary experimental study. Extracted stones were analyzed as 7 uric acid stones and 10 non-uric acid stones. Each averages of attenuation ratios in uric acid stone and non-uric acid stone was 0.91 and 1.29, respectively. Compositions of all stones extracted surgically showed same results from those of CT scans with dual energy (sensitivity 100%). It was difficult to make differential diagnoses from various kinds of non-uric acid stones.

Conclusion : Dual energy CT scans is a promising and useful imaging modality to predict compositions of renal stones.

KEY WORDS : Computed tomography, Dual energy, Renal stone, Uric acid stone, Non-uric acid stone, Radioopacity, Attenuation

I. 서론

신장요로 결석은 일생동안 6-12%의 발생을 보이는 질환으로 주로 동측의 측복통이나 혈뇨 등의 증상으로 나타나며 그와 동반하여 감염이나 요로폐색 등의 합병증을 유발하며 심할 경우 신부전 등으로 이어질 수 있다.[1-3]

신장요로 결석 환자에서 환자의 임상증상, 결석의 위치나 크기, 결석의 성분 등은 환자의 치료방법 결정에 영향을 미치며 그 중에서도 결석의 성분은 수술 전 환자의 평가에서 중요한 부분을 차지한다.[4] 시스틴석과 같은 잘 부서지지 않는 결석의 경우 체외충격 쇄석술보다 피부경유 신쇄석술이 필요하다. 또한 결석의 성분이 요산석일 경우 식이조절, 약물치료 등을 함께 체외충격파 쇄석술을 병행할 수도 있다. 이러한 이유들로 인해 결석이 진단된 경우 치료방향 결정을 위해 결석의 성분을 아는 것이 중요하다.[5-9] 조영 전 전산화단층촬영(CT)은 신요로결석의 진단에 최선의 영상기법으로 알려져 있다. 또한 전산화단층촬영은 진단뿐만 아니라 결석의 성분, 파괴한도 등을 평가함으로써 치료방향의 결정에도 매우 유용하다.[10-14]

최근 기술적인 발달과 더불어 이중에너지(dual energy) CT를 활용한 다양한 연구가 진행 중이다.[15-28] 과혈관성 중앙 및 혈관질환의 진단, 통풍의 비침습적인 진단뿐만 아니라 혈관촬영술, 인공물의 제거 등 다양한 연구가 계속되어 왔다.[18-25] 이중에너지 CT를 이용한 결석 성분의 예측에 관한 연구가 지속되어 왔다.[6-28] 이에 연구자는 이중에너지 CT를 실시하고 팬텀을 이용한 실험연구의 결과치를 참고하여 결석의 성분을 예측하였다. 또한 수술 후 결석의 성분과 비교하여 이중에너지 CT의 정확성을 분석하고 여러 성분의 비요산석을 구분할 수 있는지 알아보려고 한다.

II. 대상 및 방법

1. 대상환자

2015년 11월부터 2016년 5월 본원에 신장요로 결석을 의심할 만한 증상(측복통, 혈뇨)을 주소로 내원한 환자 가운데 진단 및 시술을 위해 복부골반 CT가 의뢰된 환자를 대상으로 전향적 연구를 시행하였다. 총 256명의 환자를 대상으로 하였으

며 수술을 받은 환자들 중 결석이 배출된 17명의 환자를 대상으로 하였다.

2. CT 검사법

모든 환자들에서 단일선원(single source) 이중에너지 CT 기능을 탑재한 640-절편 CT (Aquilion one, Toshiba medical systems corporation, Japan)를 이용하여 촬영하였다. 기본적으로 흉부 하부에서 서혜부까지 스캔하였으며 여기에 이중에너지 CT 검사를 추가하였다. 기본 단층촬영의 촬영조건은 관전압(tube voltage) 100kVp, 선속시준(beam collimation) 0.5mm × 64, 스캔시간 0.5 초이며 절편두께/절편간격은 각각 3mm/3mm 였다. 이중에너지 CT 촬영 시에는 환자의 방사선 노출을 줄이기 위해 결석이 있는 부위만 선택하여 촬영하였다. 촬영조건은 관전압은 고전압 135 kVp, 저전압 80 kVp, 선속시준은 0.5mm × 320 절편두께/절편간격은 각각 0.5mm/0.25mm, 촬영시간 0.5초였다.

3. CT 분석법

고에너지 CT 촬영과 저에너지 CT 촬영 후 영상 후처리 장비, Aquarius iNtuition (TeraRecon, Foster City, CA, USA)을 이용하여 결석에 관심부위(ROI)를 그려 측정값을 얻었으며 감쇠계수의 평균값과 표준편차를 구하였다.(그림1, 2) 또한, 다른 에너지 CT 에서 측정된 값으로 결석의 감쇠계수비(저에너지 감쇠계수/고에너지 감쇠계수)를 구하여 결석 성분을 예측하였다.

4. 결석성분 분석법

수술을 실시하여 얻은 결석을 분광분석기 (Fourier Transform Infrared Spectrometry, FT-IR)(Spectrum one, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 결석 성분을 분석하고 이중에너지 CT에서 얻은 결석 성분 예측값과 비교하였다.(그림3)

5. 실험적 신장요로 결석 연구

본 연구에 앞서 이중에너지 CT를 이용하여 예비실험을 실시하였고 (출판되지 않음) 본 연구결과와 비교하였다. 2013년 3월부터 7월까지 본원에 신장요로 결석증으로 내원하여 체외배출된 요로결석을 얻은 17명 환자를 대상으로 하였다. 플라스틱 병 안에 결석을 넣은 후(팬텀) 돈육 내에 위치시켜 CT를 촬영하였다.(그림4) 촬영 후 결석에 관심부위(ROI)를 그려 감쇠계수를 측정하였다.(그림5) 이 결과값

을 가지고 전향적 임상 연구의 참고치로 사용하였다.

5. 통계법

모든 통계적 분석은 SPSS software, version 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 통해 이루어졌으며 요산석과 비요산석의 각각의 에너지 준위에 따른 감쇠계수값은 대응표본 t-검정 및 독립표본 t-검정을 이용하여 검증하였다. 계측치는 평균 \pm 표준편차로 표시하였고 $p < 0.05$ 이하에서 통계적으로 유의하다고 해석하였다.

III. 결과

1. 신장요로 결석 환자

환자의 연령분포는 45-83세(평균나이 63 \pm 10.6 세)였으며 명의 남자 11명, 여자 6명으로 구성되었다.(표1)

신장요로 결석이 있는 환자 17명에게서 피부경유신쇄석술(PCNL)이나 방광쇄석술을 통해 얻은 결석의 성분 분석 결과, 요산석은 7개, 비요산석은 10개로 나타났다. 비요산석 중 순수한 수산화칼슘이 5개였으며 수산화칼슘석과 요산석의 혼합결석이 2개, 수산화칼슘석과 감염석과의 혼합결석이 3개였다. 하지만 혼합결석의 대부분이 수산화칼슘석의 비중이 모두 70% 이상으로 순수결석에 가까웠다.

요산석의 경우 고에너지(135 kVp) CT 영상에서 562.5 \pm 237 HU, 저에너지(80 kVp) CT 영상에서는 521 \pm 254 HU 였다. 평균적인 감쇠계수비는 0.93였다. 비요산석의 고에너지(135 kVp) CT 영상에서 866.72 \pm 295 HU, 저에너지(80 kVp) CT 영상에서는 1098 \pm 400 HU였다. 평균적인 감쇠계수비는 1.25 였으며 이중 혼합결석을 제외한 수산화칼슘석의 감쇠계수비는 1.31 이었다.(표2)

감쇠계수비로 추정된 결석의 성분예측은 배출된 결석의 성분 분석과 모두 일치하는 결과를 보였다.

2. 실험적 신장요로 결석

환자의 연령분포는 42-84세(평균나이 66.8 \pm 11.8 세)였으며 남자 10명, 여자 7명으로 구성되었다. 진단된 전체 17개의 신장요로 결석 중에서 요산성분 결석은 5개(29.4%)였고, 비요산석은 12개(70.6%)로 나타났다.

요산석의 경우 고에너지(135 kVp) CT 영상에서는 평균 348.8 \pm 166.3 HU의 감

쇠계수를 보였고 저에너지(80 kVp) CT 영상에서는 338 ± 173 HU의 평균값을 보였다. 비요산석의 경우 고에너지(135 kVp) CT 영상는 552 ± 297 HU, 저에너지(80 kVp) CT 영상은 958 ± 425 HU로 나타났다, 요산석의 감쇠계수비는 평균 0.97 이며 최소 0.91, 최대 1.03 으로 나타났다. 비요산석의 감쇠계수의 평균은 1.7 이었다.(표3)

IV. 고찰

신장요로 결석은 전 세계적으로 발생하는 질환으로 미국에서 일생동안 6-12%의 발생확률을 가지는 것으로 알려져 있다. 한국에서는 일생동안 남자에서 6%, 여자에서 1.8% 정도가 경험하며 연간 10만 명당 457명에서 발생하고 알려져 있다.[1-3] 신장요로 결석을 일으킬 수 있는 위험요소는 가족력이나 전신질환, 체중, BMI, 환경, 식습관 등이 결석의 생성에 기여하는 것으로 알려져 있다.[2] 결석의 치료효과는 결석의 크기나, 위치, 결석의 성분에 영향을 받는다.[4] 결석은 여러 가지 성분으로 이루어질 수 있는데 요산, 칼슘옥살레이트, 칼슘인, 시스틴 등이 대표적이며 감염석의 경우 마그네슘, 암모늄, 인등으로 이루어져있다. 일반적으로 체외충격쇄석술의 경우 결석의 성분에 따라 치료의 성공률이 달라지는 것으로 알려져 있다. 요산석의 경우는 소변을 중성화 시켜주는 약물요법과 식이요법만을 시행하거나 약물요법을 병행하면서 체외충격쇄석술을 사용할 수 있다. 시스틴석이나 칼슘석같은 경우는 잘 부서지지 않기 때문에 체외충격쇄석술보다는 피부경유 신쇄석술이 필요하다.[5-9] 이러한 이유로 인해 치료방향을 결정하는데 결석의 성분을 아는 것은 중요하다.

현재 초음파나 경정맥 요로조영술보다 CT 촬영을 이용할 경우 신장요로 결석의 신속하고 정확한 검사가 가능하다. 일반적인 결석진단에 CT 촬영을 이용하는 것에 그치지 않고 나아가 CT를 이용한 결석의 성분 예측에 대한 많은 연구들이 진행되었다. 결석 성분에 따라 감쇠계수가 서로 다른 것을 이용한 것이다.[10-14] Bellin 등은 CT를 이용한 체외실험에서 64-81%의 정확도를 보이며 결석의 성분 예측이 가능하다고 보고하였다.[10] Mostafavi 등은 나선식 CT에서 요산석과 칼슘, 시스틴 석이 쉽게 감별된다고 하였으며 이후 여러 연구에서도 CT 상에서 요산석 및 시스틴 석의 구분이 가능하다고 하였다. 하지만 해상도, 부분용적효과 및 감쇠계수값의 중복 등이 특이도를 떨어트리는 요인으로 지목되었다.[11-14] 이러한 문

제들을 해결하기 위해 이중에너지 CT를 이용한 결석의 구분에 대한 연구가 시작되었다.

CT의 초기 발달부터 이중에너지 CT의 개념은 시작되었으나 1970-80년대에 시행된 이중에너지 CT는 낮은 전압의 영상, 긴 데이터 획득시간과 불완전한 조직 성분 분석능으로 매우 제한적이었다. 하지만 최근 CT 기술의 발달로 짧은 시간에 두 개의 영상자료의 획득이 가능하게 되어 임상적으로 활발히 연구되고 있다. 이중에너지 CT는 서로 다른 두 에너지 준위에서 특정물질에서 일어나는 감쇠 정도의 차이를 이용하여 특정물질을 구별할 수 있다는 원리를 이용한 기법이다.[15-17] 같은 해부학적인 위치에서 서로 다른 x선 에너지를 통해 얻은 2개의 영상자료를 후처리 프로그램을 통해 영상화하는 방법으로 이용되고 있다. 임상적으로 비뇨기계 종양 및 결석의 구별 등에 많이 이용되고 있다. 광전효과의 에너지 의존성과 K꺾질의 변동성이 이중에너지기법의 기본이 된다. 칼슘과 요오드의 K꺾질은 각각 4.0 keV 및 33.2 keV인데 이것은 다른 연조직보다 높은 감쇠계수를 나타게 되고 이로 인해 이중에너지 기법으로 다른 연조직과의 감별이 쉬워진다.[18] Johnson 등은 이중에너지 CT를 사용하여 영상을 얻은 후 이미지 처리과정을 통해 요오드 조영제를 주위조직으로부터 구별할 수 있는 영상 결과를 얻었고 CT를 이용한 조직 구분의 가능성 및 혈관 질환의 평가에 쓰일 수 있음을 보고하였다.[19-20] 또한 Graser 등은 dual energy를 이용하여 가상의 조영 전 영상을 얻음으로써 신장 및 부신 종괴의 구별에 이용할 수 있다고 보고하였다.[21]

이러한 이중에너지 CT를 이용한 신요로 결석의 성분 예측 및 구별에 대한 연구 역시 최근 꾸준히 지속되었다. 요산석의 경우 수소, 탄소, 질소, 산소 등과 같은 비교적 원자번호가 낮은 원소로 이루어진 반면에 칼슘석의 경우 비교적 원자번호가 높은 원소로 이루어져 있다. 이러한 차이가 서로 다른 관전압에서 다른 감쇠계수를 나타내게 된다.[20] Stolzmann 등은 이중에너지 CT를 이용한 체외 실험에서 요산석과 비요산석의 구별이 가능하며 비요산석의 감쇠계수비가 더 크게 나타남을 보고하였다.[26] Grosjean 등은 젤리를 이용해 만든 팬텀 내부에 사람에게서 배출된 결석을 위치시키고 이중에너지 CT 영상을 얻었을 때, 각각의 에너지에서 얻은 감쇠계수값으로 요산석, 시스틴석 칼슘석 등의 구분이 가능함을 발견했다. 호흡과 비슷한 움직임을 주었을 때는 감쇠계수값이 움직이지 않았을 때와 의미있게 달랐다.[27]

팬텀 내 시술 후 적출된 결석을 이용한 체외 예비실험연구에서 요산석의 감쇠계

수 값은 고에너지(135 kVp) 및 저에너지(80kVp)에서 값이 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 비요산석의 경우 에너지(135 kVp) 및 저에너지(80kVp)에서 유의한 차이를 보였다. 실제 비요산석의 경우 저에너지와 고에너지에서의 감쇠계수 차이가 유의한 결과를 보였다. 예비실험연구 상의 각각의 에너지 단층촬영 영상 에서도 평균적인 감쇠계수비가 각각 요산석의 경우 0.97, 비요산석의 경우 1.74 로 나타나 임상연구와 비슷하였으나 비요산석의 비가 조금 더 높게 나타났다. 이는 서로 다른 관찰자 간의 측정상의 차이에 의한 것으로 여겨진다. 예비실험연구의 평균치의 차이가 커서 Hidas 등의 연구의 팬텀을 이용한 후향적 연구를 추가적인 참고치로 하였다. 참고치를 가지고 전향적 임상 연구에서 수술 전 이중에너지 CT촬영을 분석하여 예측한 결석의 성분(요산석이나 비요산석)은 요산석과 비요산석에 상관없이 수술 후 배출된 결석과 100% 일치하였다. Hidas 등의 연구에 따르면 팬텀을 이용한 실험 연구를 실제 임상에서 실시한 전향적 연구에 적용했을 때 요산석과 비요산석의 구분뿐만 아니라 비요산석의 세부적인 구분이 가능하였다. 요산석의 경우 감쇄계수비가 1.1 미만이었으며 시스틴석의 경우 1.1-1.24, 1.24 이상인 경우 칼슘석으로 진단이 가능했다.(28) 본 연구에서도 칼슘석의 경우 감쇄계수비가 평균 1.29 이상으로 높게 측정되었으며 최저 감쇠계수비는 1.19 정도였다. 요산석은 0.91 으로 측정되었으며 최대 1.0의 감쇠계수비를 보였다. 하지만 이전 연구들에서 일부 가능했던 비요산석의 세부적인 구분은 어려웠다. Hidas 등의 연구와 본 연구를 비교해 봤을 때 1.1 이상의 경우 비요산석으로 진단이 가능하여 1.1 미만의 경우 요산석으로 진단이 가능하다.

이 연구에는 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째, 환자 표본수가 적으며 이로 인해 시스틴석이나 감염석이 존재하지 않았다. 이 때문에 요산석과 칼슘석 사이의 감쇠계수비를 가진다고 알려진 시스틴석의 결과를 얻을 수 없었고 그 외에도 다른 종류의 결석의 성분분석이 어려웠다. 환자 표본의 수가 적은 이유로는 결석분석을 위해서 환자가 피부경유신쇄석술이나 방관쇄석술을 통한 배출된 결석의 수집이 이루어져야만 하지만 수술 전 이중에너지 CT를 실시한 환자들 중 많은 수가 체외충격파 쇄석술을 받았다. 따라서 이중에너지 CT를 이용한 신장결석의 구별을 정확성을 높이기 위해서 비요산석의 세부적이 구별이 가능하도록 대규모의 비요산석 표본이 필요하다. 둘째, 직접 ROI를 그려 측정하였기 때문에 관찰자간 변동성을 보일 수 있고 주관적으로 측정될 가능성이 있었다. 셋째, 다양한 고에너지 및 저에너지를 이용한 촬영결과를 얻을 수 없었지만 다량의 피폭 가능성으로 사전에 결정

된 두 가지 에너지만을 사용하였다.

V. 결론

시술 전 실시한 이중에너지 CT 결과로 요산석과 비요산석의 정확한 예측이 가능하다. 본 연구의 결과를 이용하면 실제 임상에서 요산석 환자의 경우 불필요한 침습적 시술을 막고 약물요법과 같은 치료를 선택할 수 있어서 신장요로 결석의 평가와 치료방법 결정에 이중에너지 CT가 유용하게 사용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] Bae SR, Seong JM, Kim LY, Paick SH, Kim HG, Lho YS, et al. The epidemiology of reno-ureteral stone disease in Koreans: A nationwide population-based study. *Urolithiasis* 2014;42:109-114
- [2] Curhan GC. Epidemiology of stone disease. *Urol Clin North Am* 2007;34:287-293
- [3] Sakhaee K, Maalouf NM, Sinnott B. Clinical review. Kidney stones 2012: Pathogenesis, diagnosis, and management. *J Clin Endocrinol Metab* 2012 ;97:1847-1860
- [4] Preminger GM, Vieweg J, Leder RA, Nelson RC. Urolithiasis: detection and management with unenhanced spiral CT a urologic perspective. *Radiology* 1998;207:308-309
- [5] Fink HA, Wilt TJ, Eidman KE, Garimella PS, MacDonald R, Rutks IR, et al. Medical management to prevent recurrent nephrolithiasis in adults: A systematic review for an American college of physicians clinical guideline. *Ann Intern Med* 2013;158:535-543
- [6] Renner C, Rassweiler J. Treatment of renal stones by extracorporeal shock wave lithotripsy. *Nephron* 1999;81:71-81
- [7] Ngo TC, Assimos DG. Uric acid nephrolithiasis: recent progress and future directions. *Rev Urol* 2007;9:17-27
- [8] Perks AE, Schuler TD, Lee J, Ghiculete D, Chung DG, D'A Honey RJ, et al. Stone attenuation and skin-to-stone distance on computed tomography predicts for stone fragmentation by shock wave lithotripsy. *Urology* 2008;72:765-769
- [9] Mays N, Challah S, Patel S, Palfrey E, Creeser R, Vadera P et al. Clinical comparison of extracorporeal shock wave lithotripsy and percutaneous nephrolithotomy in treating renal calculi. *BMJ* 1988;297:253-258
- [10] Bellin MF, Renard-Penna R, Conort P, Bissery A, Meric JB, Daudon M, et al. Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary

- tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density. *Eur Radiol* 2004;14:2134-2140
- [11] Mostafavi MR, Ernst RD, Saltzman B. Accurate determination of chemical composition of urinary calculi by spiral computerized tomography. *The Journal of urology* 1998;159:673-675
- [12] Newhouse JH, Prien EL, Amis ES, Jr., Dretler SP, Pfister RC. Computed tomographic analysis of urinary calculi. *Am J Roentgenol* 1984;142:545-548
- [13] Saw KC, McAteer JA, Fineberg NS, Monga AG, Chua GT, Lingeman JE, et al. Calcium stone fragility is predicted by helical ct attenuation values. *J Endourol* 2000;14:471-474
- [14] Saw KC, McAteer JA, Monga AG, Chua GT, Lingeman JE, Williams JC, Jr. Helical ct of urinary calculi: Effect of stone composition, stone size, and scan collimation. *Am J Roentgenol* 2000;175:329-332
- [15] Alvarez RE, Macovski A. Energy-selective reconstructions in x-ray computerized tomography. *Phys Med Biol* 1976;21:733-744
- [16] Millner MR, McDavid WD, Waggener RG, Dennis MJ, Payne WH, Sank VJ. Extraction of information from CT scans at different energies. *Med Phys* 1979;6:70-71
- [17] Chiro GD, Brooks RA, Kessler RM, Johnston GS, Jones AE, Herdt JR, et al. Tissue signatures with dual-energy computed tomography. *Radiology* 1979;131:521-523
- [18] Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, Petersilka M, Gruber K, Süß C, et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol* 2006;16:256-268
- [19] Coursey CA, Nelson RC, Boll DT, Paulson EK, Ho LM, Neville AM, et al. Dual-energy multidetector ct: How does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominopelvic imaging? *Radiographics* 2010;30:1037-1055
- [20] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, Grasruck M, Bruder H, Morhard D, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience.

- Eur Radiol* 2007;17:1510-1517
- [21] Graser A, Johnson TR, Chandarana H, Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur Radiol* 2009;19:13-23
- [22] Bamberg F, Dierks A, Nikolaou K, Reiser MF, Becker CR, Johnson TR. Metal artifact reduction by dual energy computed tomography using monoenergetic extrapolation. *Eur Radiol* 2011;21:1424-1429
- [23] Johnson TR. Cervical and cranial computed tomographic angiography with automated bone removal:dual energy computed tomography versus standard computed tomography. *Invest Radiol* 2009;44:293-297
- [24] Sommer WH, Johnson TR, Becker CR. The value of dual-energy bone removal in maximum intensity projections of lower extremity computed tomography angiography. *Invest Radiol* 2009;44:285-292
- [25] Johnson TR, Weckbach S, Kellner H, Reiser MF, Becker CR. Clinical image: dual-energy computed tomographic molecular imaging of gout. *Arthritis Rheum* 2007;56:2809
- [26] Stolzmann P, Scheffel H, Rentsch K, Schertler T, Frauenfelder T, Leschka S, et al. Dual-energy computed tomography for the differentiation of uric acid stones: Ex vivo performance evaluation. *Urol Res* 2008;36:133-138
- [27] Grosjean R, Sauer B, Guerra RM, Daudon M, Blum A, Felblinger J, et al. Characterization of human renal stones with mdct: Advantage of dual energy and limitations due to respiratory motion. *Am J Roentgenol* 2008;190:720-728
- [28] Hidas G, Eliahou R, Duvdevani M, Coulon P, Lemaitre L, Gofrit ON, et al. Determination of renal stone composition with dual-energy ct: In vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. *Radiology* 2010;257:394-401

표1. 이중에너지 CT에서 얻은 감쇠계수, 감쇠계수비를 토대로 예측한 결석 종류 및 수술 후 결석분석 결과

Case	성별/ 나이	감쇠계수비	감쇠계수 (80kVp)	감쇠계수 (135kVp)	CT분석 예측결석	분석결과
1	M/58	0.88	331	376	요산석	요산석
2	M/62	1.24	1678	1358	비요산석	수산화칼슘석
3	M/69	1.19	368	309	비요산석	수산화칼슘석(70%) +요산석(30%)
4	M/78	0.90	475	525	요산석	요산석
5	F/45	1.35	1041	769	비요산석	수산화칼슘석
6	M/62	1.00	1029	1032	요산석	요산석
7	F/54	1.35	1114	826	비요산석	수산화칼슘석
8	M/83	0.95	469	494	요산석	요산석
9	F/56	1.31	1218	931	비요산석	수산화칼슘석
10	M/67	1.28	1678	1316	비요산석	수산화칼슘석
11	M/72	0.85	444	523	요산석	요산석
12	M/59	0.90	381	422	요산석	요산석
13	F/48	1.29	965	747	비요산석	수산화칼슘석(80%) +감염석(20%)
14	M/66	0.86	518	600	요산석	요산석
15	F/75	1.29	1241	960	비요산석	수산화칼슘석(80%) +감염석(20%)
16	F/73	1.37	1071	784	비요산석	수산화칼슘석(90%) +요산석(10%)
17	M/74	1.27	1187	934	비요산석	수산화칼슘석(80%) +감염석(20%)

표2. 요산석과 비요산석의 이중에너지 CT 촬영에서 얻은 감쇠계수비의 박스도표 :
 내부에 굵은 줄로 표시된 부위가 중앙값이며 안쪽 바깥쪽 선은 각각 25% 75%
 이다. 1: 요산석 2: 비요산석

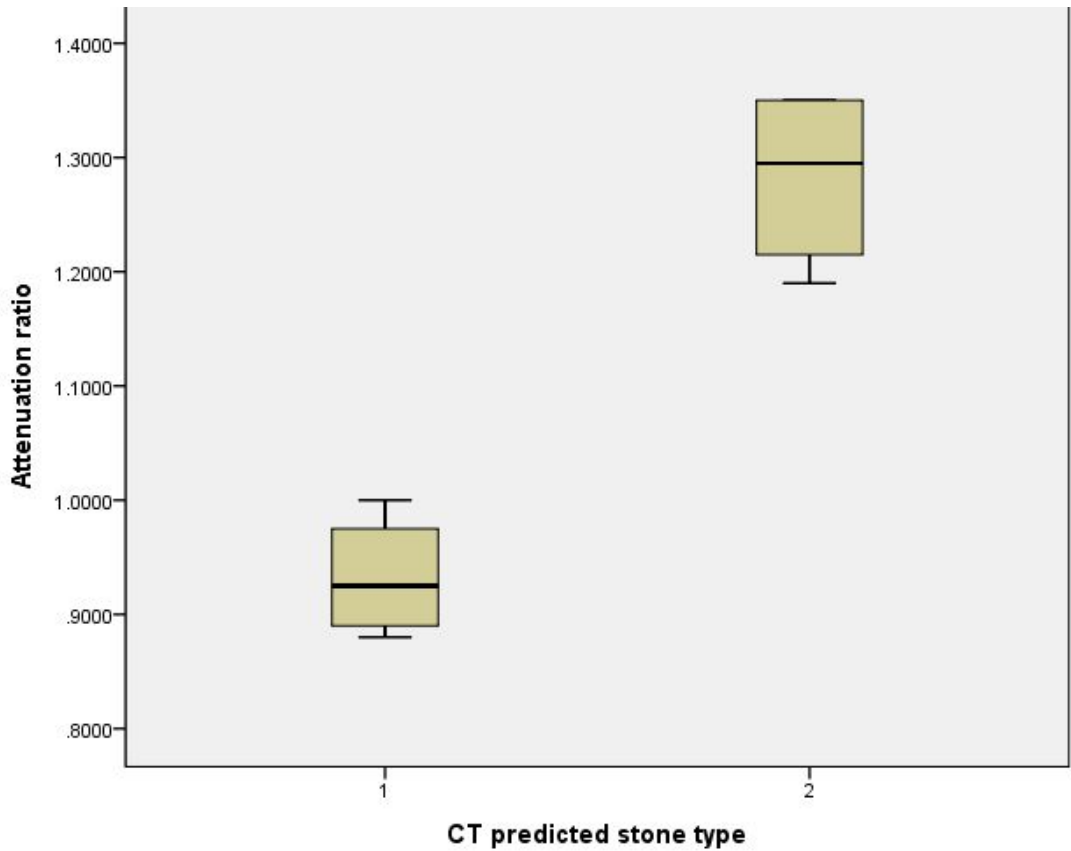
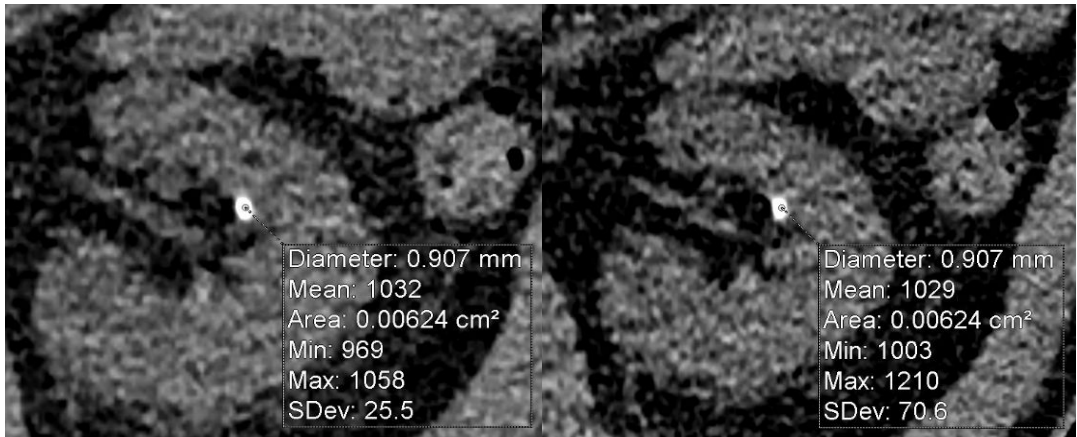


표3. 팬텀을 이용한 예비실험에서 결석종류에 따른 감쇠계수 및 감쇠계수비 평균값

성별	나이	감쇠계수 (80kVp)	감쇠계수 (135kVp)	감쇠계수비	비교
남=10	66.77±	337.94±	348.87±	0.97	요산석(5)
		172.77	166.37		
여=7	11.81	958.19±	551.93±	1.7	비요산석(12)
		424.72	297.09		

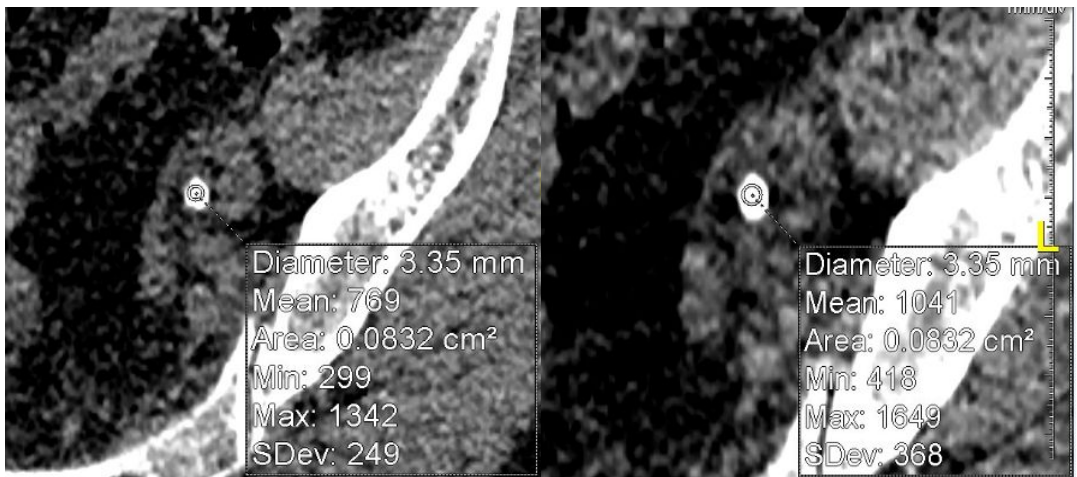
그림1. 62세 남자 요산석 환자 (a) 고에너지(135kVp) CT 촬영 영상 (b) 저에너지 (80kVp) CT 촬영영상에서 ROI를 그리고 각각의 감쇠계수를 측정하여 감쇠계수비=1.00를 얻음.



(a)

(b)

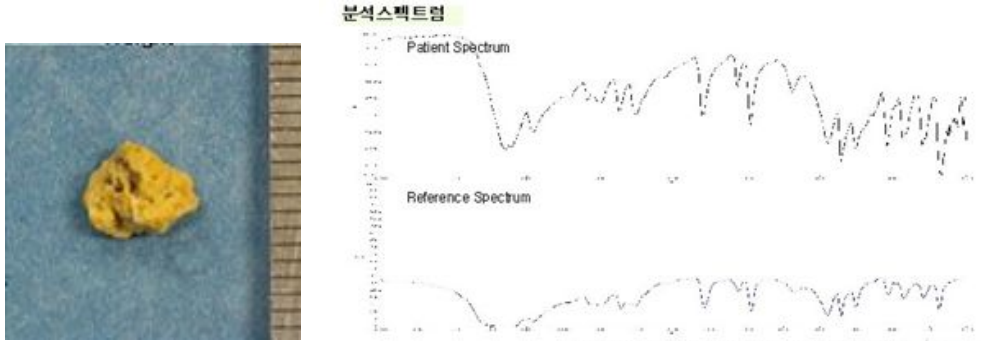
그림2. 45세 여자 수산화칼슘석 환자 (a) 고에너지(135kVp) CT 촬영 영상 (b) 저에너지 (80kVp) CT 촬영영상에서 ROI를 그리고 각각의 감쇠계수를 측정하여 감쇠계수비=1.35 를 얻음.



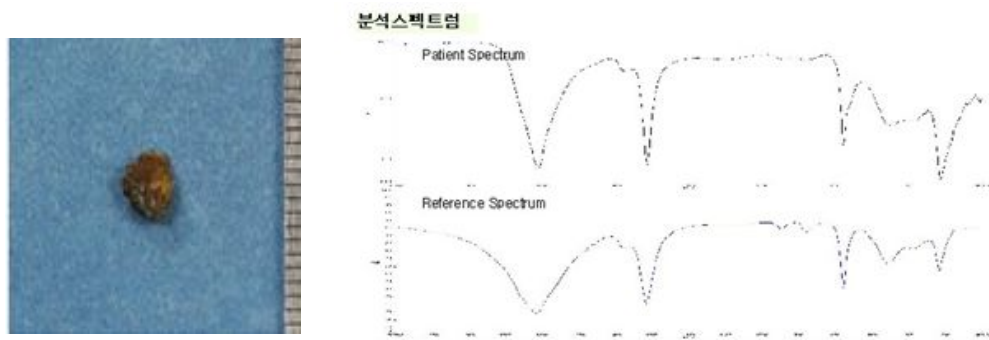
(a)

(b)

그림3. 분광분석기를 이용한 결석성분 분석법. (a) 요산석 (b) 비요산석



(a)



(b)

그림4. 팬텀모형. 플라스틱 병(화살표) 안에 신장요로 결석을 삽입한 후 근육 내에 위치시킴.



그림5. 결석 내 감쇠계수 측정. ROI를 그리고 감쇠계수를 측정함.

