

Characterization of Twinkling Artifact in differently Colored Urinary Stones in Color Doppler Ultrasound: an In-vitro Study

Hye-Nam Lee^{1,2,*}

¹Kimsangyoung Internal medicine clinic

²Department of Radiological Science, Hanseo University

Received: November 02, 2023. Revised: November 28, 2023. Accepted: December 31, 2023.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the association of twinkling artifacts according to the types of urinary stones in color Doppler ultrasound. For two types of urinary stones with different colors, the degree of occurrence of color Doppler twinkling artifact in water tank was analyzed, and the surface condition and composition of the stones were analyzed. The composition of Calcium and phosphorus were the most frequent components in white and brown stones excluding carbon and oxygen. Twinkling artifacts of color Doppler appear stronger in brown stone. The higher the phosphorus content of the stones, the shorter the twinkling artifact appears, so it is possible to predict the main composition of stones.

KeyWords: Urinary stone, Color Doppler Ultrasound, Twinkling Artifact, Stone Composition, Urolithiasis

I. INTRODUCTION.

요로계의 결석(urinary stone)은 소변의 흐름에 장애가 초래되고 심한 통증이나 요로 감염, 수신증, 신부전 등의 합병증이 나타날 수 있는 질환이다. 소변조성의 과포화현상으로 발생하는 요로결석의 유병율은 매년 증가하고 있으며 특히 남자의 경우에 더욱 그러하다^[1]. 결석의 성분에서 칼슘염(주로 수산칼슘)은 요로결석의 가장 흔한 성분으로 요로결석의 75 - 90%를 차지하고 있으며, 다음으로 많은 성분이 인산칼슘 및 요산으로 알려져 있다^[2]. 요로결석은 1개월 이내로 전체의 80% 정도가 자연 배출된다. 그렇지 않은 경우 우리나라에서 요로결석의 첫 치료는 체외충격파쇄석술이 91.5%로 대부분을 차지하고 이런 경향은 향후 지속될 것으로 예상된다^[3].

신장 및 요관결석의 진단방법은 X-ray, 컴퓨터단층촬영, 초음파 검사 등이다. 초음파 검사는 다양한

장점으로 인하여 건강진단프로그램에서 매우 활용도가 높고 따라서 결석을 검출하는데 있어서도 기본적으로 많이 이용되고 있다^[4].

결석은 초음파영상에서 후방음영(*posterior acoustic shadow*)을 동반하는 고에코로 나타나는 경우에 진단이 용이하다. 주로 결석이 발생하는 신장의 신동부(*renal sinus*)는 신동부지방, 장막지방과 창자간막지방 등에 의해 고에코(*hyperechoic*)로 나타나기 때문에 결석을 정확하게 진단하기 어려운 경우가 있다^[5].

1996년 초음파의 칼라도플러모드에서 트윈클링 허상(*twinkling artifact, TA*)이 소개된 이후^[6] 이에 대한 다양한 연구가 많았으며 특히 요로결석에서 유용하였다. 칼라도플러검사에서 결석의 후방에 TA가 발생한다^[7].

TA는 강한 반사신호가 있는 경우 반사물의 후방에서 발생하며 따라서 복부의 위장관 가스에 의하여도 발생하는 경우가 있다^[8]. 그러나 결석의 경우에서 TA가 명확히 나타나는 경우가 확연히 많으며

* Corresponding Author: Hye-Nam Lee

E-mail: fortuna2871@hanmail.net

Tel: +82-10-2207-7250

로 TA가 발생하면 결석의 진단이 보다 용이할 수 있다^{9,10}.

본 연구에서는 초음파 검사 도중 동일 검사조건에서 TA의 발생정도가 확연히 차이 나는 경우가 있어 결석의 종류에 따라 TA가 다르게 나타나는지 연구하고자 하였다. TA의 발생정도로써 결석의 종류를 예측할 수 있다면 요로결석의 치료 시 치료 계획에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

II. MATERIAL AND METHODS.

1. 연구재료

1.1. 요로결석

요로결석은 전주대학교 인체유래물연구 심의위원회(승인 번호: jjIRB-190314-BR-2019-0504)에서 승인한 프로토콜에 따라 수행되었다. 비슷한 모양, 두께의 육안상 색이 다른 2종류의 요로결석(최대직경 - 갈색 6.3 mm, 흰색 7.5 mm)은 재수화를 위해 검사 전 약 3시간 동안 실내 상온에서 14.2°C의 물에 담가놓은 후 실시하였다¹¹. Fig. 1과 같다.

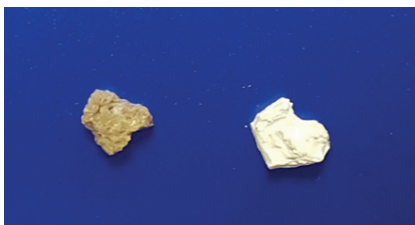


Fig. 1. Urinary stones of different colors in naked eye.

1.2. 초음파검사

초음파검사에 사용된 장비는 Medison(Kor.)사의 A-35 장비로 장비사에서 제공하는 상복부의 기본 설정을 따랐다. gray scale gain 50 dB, Dynamic Range 134 dB, 영상의 깊이 16 cm, 곡선배열형탐촉자(주파수 4.4 MHz)에 단일 초점으로 초점은 결석 하부의 레벨에 조준하였다. 칼라게인은 노이즈가 사라지는 지점인 46 dB에서 설정되었다. 칼라도플러의 속도는 32.3 cm/sec (PRF 2.03 kHz)이었다. 수조¹⁹에서 사용된 도토리묵¹²은 시판되고 있는 표면이 균일한 제품을 사용하였다.

1.3. 결석의 표면분석

결석의 표면영상에 사용된 기기는 Fig. 2의 피부모발 분석기 Aram hubis(Kor.)사의 APM 202이다. 영상은 5×106 pixel을 가진 60배 확대상이다.

1.4. 결석의 성분분석

X선회절분석기(XRD, X-ray diffractometer-Rigaku (Jap), D/Max 2200), 주사현미경(SEM, scanning electron microscopy-JEOL(Kor.), JSM-5600), 에너지분산형 엑스선분광기(EDX, energy-dispersive X-ray spectroscopy- JEOL(Kor.) 6587)을 사용하였고, Fig. 2, 3과 같다. 요산(uric acid)과 수산염(oxalate)은 화학적 정성분석으로 시행하였다. 초음파에서 TA측정을 마친 결석을 각자 분말형태로 분석하였다.



Fig. 2 Aram hubis camera analyzer 202



Fig. 3 (a) XRD(X-Ray Diffractometer) D/MAX 2200 (b) SEM, scanning electron microscopy (JEOL, JSM-5600) & EDX, energy-dispersive X-ray spectroscopy (JEOL, JSM - 6587)

2. 연구방법

도토리묵은 초음파의 투과력이 좋아 간 연부조직의 초음파영상과 유사한 패턴으로 나타나며 공기 등 여타의 오류를 최소화하기 위한 방법이다. 초음파 탐촉자는 Fig. 4와 같이 실험장치에서 도도

리목의 표면에 수직이 되도록 고정하였으며 실험이 끝날 때까지 움직이지 않도록 유지하였다. 수조의 물 온도는 실험이 끝날 때까지 같은 온도를 유지하였다.

36 × 26 × 11 cm 크기의 물탱크에 도토리묵의 표면이 초음파영상에서 일반적으로 콩팥이 나타나는 깊이인 6 cm가 되도록 설정하였다. 결석은 핀셋을 이용하여 TA의 종축이 최대가 되도록 직접 조정하였다.

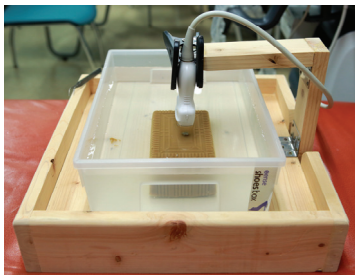


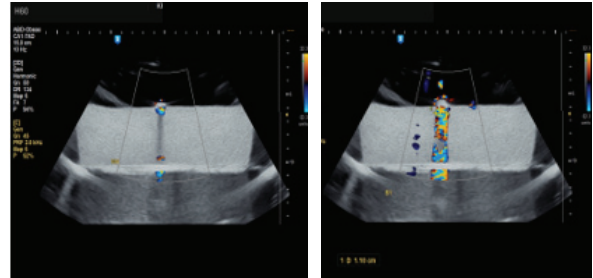
Fig. 4. Mounting experimental tools : fixed probe and acorn jelly in water tank.

TA의 측정방법은 Fig. 5와 같이 결석의 후방종축으로 연속성이 유지되는 최대치에서 측정하였다. TA가 없는 경우를 0등급, 음향음영의 일부를 차지하는 경우를 1등급, 음향음영의 전체를 차지하는 경우를 2등급으로 지정하였다. 측정 값은 초음파경력 20년 이상의 술자(ARDMS)가 수회 측정하였으나 측정치의 차이가 거의 없어 의의를 두지 않았다. TA의 측정 후 두 종류의 결석에 대하여 성분분석을 시행 하였다.

III. RESULT

1. 칼라도플러 초음파의 TA발생

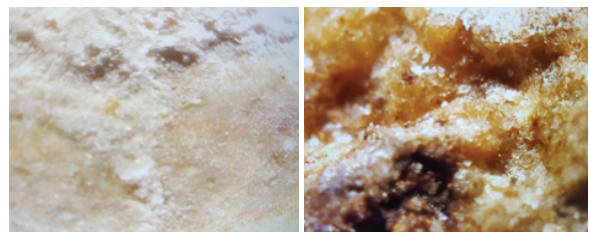
초음파영상에서 측정한 TA의 최대 종축길이는 흰색 결석이 1등급으로 2.3 mm, 갈색 결석이 2등급으로 30.2 mm이었다.



(A) White stone (B) Brown stone
Fig. 5. The length of the vertical axis of twinkling artifact behind the urinary stone.

2. 결석의 표면분석

흰색의 결정에서 편평하고 고른 표면과 일부 요철이 보였고 갈색의 결석에서 과립형 요철이 관찰되었다.



(A) White stone (B) Brown stone

Fig. 6. Surface image of stone magnified 60x. by camera analyzer.

Table 1. Component analysis of brown urinary stone

Spectrum	C	O	Na	Mg	p	Ca	Cu	Zn	Sn	Sb	Total
1	20.40	53.70	0.43	0.23	4.67	17.40	0.75	0.62	0.40	1.34	100.00
2	20.18	51.46	0.74	0.28	6.09	18.09	0.81	0.56	0.47	1.32	100.00
3	20.37	56.06	0.25	0.19	2.87	16.96	0.61	0.51	0.48	1.69	100.00
4	20.11	50.96	0.34	0.19	4.52	20.74	0.77	0.51	0.43	1.42	100.00
Mean	20.27	53.04	0.44	0.22	4.54	18.31	0.73	0.55	0.45	1.44	100.00
Std. deviation	0.15	2.34	0.21	0.04	1.32	1.69	0.09	0.05	0.04	0.17	

All results in weight%

Table 2. Component analysis of white urinary stone

Spectrum	C	O	Na	Mg	P	Ca	Cu	Zn	Sb	I	Total
1	14.71	44.25	0.37	2.01	12.58	19.65	1.13	0.77	3.14	1.38	100.00
2	14.68	38.88	0.55	1.85	13.57	22.49	1.25	0.86	4.31	1.56	100.00
3	16.16	45.81	0.47	2.24	12.08	17.17	0.94	0.78	3.30	1.06	100.00
4	15.88	45.88	0.36	2.04	11.70	18.14	0.82	0.70	3.22	1.27	100.00
Mean	15.36	43.71	0.44	2.04	12.48	19.36	1.04	0.78	3.49	1.32	100.00
Std. deviation	0.77	3.31	0.09	0.16	0.81	2.32	0.19	0.07	0.55	0.21	

All results in weight%

3. 결석의 성분분석

XRD, EDX로 분석된 결석의 성분은 Table 1, 2와 같다. 가장 많은 빈도를 보이는 성분은 탄소(C)와 산소(O)를 제외한 칼슘(Ca)과 인(P)으로 나타났다. 칼슘의 함유량은 흰색결석에서 19.36%, 갈색의 결석에서 18.31%로 나타났다. 인의 함유량은 흰색결석에서 12.48%, 갈색의 결석에서 4.54%로 나타났다. Fig. 6은 두 결석의 각 성분의 함유율을 막대차트이다. 함유율이 높으면서 가장 두드러진 차이를 보이는 것이 인의 함유율 이었다. 화학적 정성분석에서 수산염은 갈색의 결석에서만 검출되었다. 요산은 두 결석에서 모두 검출되지 않았다.

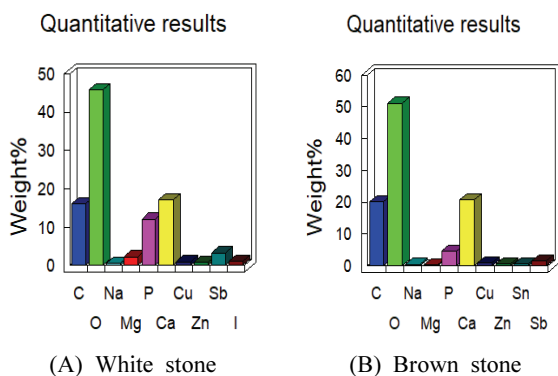


Fig. 6. Graph chart of urinary stone components.

IV. DISCUSSION

대부분의 결석은 방사선 사진에서 하얗게 보이거나 결석의 밀도가 조밀하지 못한 경우는 잘 보이지 않는다. 이런 경우 방광이나 콩팥에 있는 결석은 초음파 검사를 통해 확인이 가능하다. 초음파

검사는 결석을 확인하거나 X-ray에서 하얗게 보이는 병변이 실제 요로계에 있는 병변인지의 감별과 결석과 동반된 종양 등의 동반 질환의 유무를 검사할 때도 같이 시행할 수가 있다.

초음파 검사에서 콩팥결석은 고에코의 반사음과 그와 동반되는 결석의 후방음영으로 진단할 수 있으나 결석의 크기가 작은 경우 반사음의 강도와 후방음의 발생이 미약하여 진단이 난해하다.

이러한 경우 결석의 후방인공물인(posterior artifact)인 TA의 발생으로서 결석의 유무 및 크기측에서 회색도검사의 보조방법으로서 유용하다.

요로결석 진단 시 많은 연구에서 칼라도플러의 TA에 대한 유용성이 확인되었다. Michael 등은 결석진단에서 TA의 발생율을 97%라 하였고^[13], 심 등은 모든 결석에서 TA가 발행한다고 하였다^[12]. 또한 Turin 등은 TA가 미세 결석증에서도 유용하다고 하여 회색도만으로 진단이 난해한 경우 확연히 도움이 될 수 있음을 알 수 있다^[14]. TA는 표면이 거친 돌에서 발생이 높다. Chelfouh의 연구에 따르면 옥살산 칼슘 결석의 경우 표면 패턴은 구성 요소와 상관관계가 있다^[15].

본 연구에서 사용된 두 결석의 표면은 육안으로 보았을 때 흰색의 결석에서 표면요철이 없이 매끈함을 확인 할 수 있었다. 갈색의 결석에서 직경이 보다 큰 흰색의 결석보다 TA의 발생이 현저하게 높은 것은 Tchelepi 등의 연구와 부합된다^[16]. 인은 동물의 뼈나 이의 주요성분으로 인이 보다 많이 함유된 결석은 흰색을 띠었고 표면이 미끄러웠다. 뼈나 이의 표면은 육안상 매끄럽고 부드러운 특징을 지니고 있다.

또한 TA의 발생 정도는 초음파의 입사각 및 장비의 매개 변수 설정에 의해서도 영향을 받는다. 초음파 빔이 수직으로 입사 되고 사용되는 탐촉자의 주파수가 낮을수록, PRF가 높을수록 TA의 발생이 많다^[17]. 본 연구에서는 칼라도플러의 매개변수 중 특히 영향력이 있는 PRF 설정에 있어 TA의 발생이 최대가 되는 시점에서 실시하였고 모든 조건은 실험동안 동일하게 유지되었다.

김 등에 따르면 요로결석의 화학적 정성분석에서 칼슘성분이 82.6%로 가장 많으며 인 56.9%, 요산 22.9% 등의 순이었다^[18]. 결석의 크기, 위치, 밀도 등의 결석 요인은 가장 보편적으로 사용되는 치료방법의 결정인자이다. 비조영증강 컴퓨터단층촬영(CT)은 요로결석을 정확하게 진단할 수 있는 표준 영상검사이고 결석의 밀도(hounsfield unit, HU) 정보를 활용하여 결석의 성분을 간접적으로 예측할 수 있다. HU가 낮은 경우에 상대적으로 파쇄가 잘되며 충격파쇄석술의 성공률이 높다^[19].

본 연구에서 사용된 흰색의 결석은 통상 요산석으로 알려져 있으며 치료 시 파쇄가 용이하다. 본 연구에서 사용된 흰색의 결석에서는 요산이 검출되지 않았다. 결석의 성분분석에는 다양한 방법이 이용되지만 완전한 성분분석을 할 수 있는 방법은 없다고 알려져 있다^[19].

또한 요산석으로 의심되는 CT 상 HU가 450 미만인 방사선투과성 결석의 경우 경구약물을 이용한 결석 용해요법을 시행하는 것이 추천 된다. 성공률은 지금까지 약 50-73%에 이르는 것으로 보고 되었으며 재발방지를 위해서도 고려해야 한다고 하였다^[20].

본 연구에서 TA의 발생이 미미한 흰색의 결석이 요산석인지의 여부는 좀 더 광범위한 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구의 한계인 in vitro 실험으로서의 여타 오류가 있을 수 있다.

요로결석과 TA의 관련연구 중 결석의 구체적인 성분에 따른 TA의 발생정도의 연구는 매우 미비한 실정므로 본 연구는 이와 관련된 기초자료로서 의의를 둘 수 있을 것으로 여겨진다.

V. CONCLUSIONS

색이 다른 2종류의 요로결석에서 흰색결석의 인 함유율이 높았고 결석의 표면은 편평한 부분이 두드러졌다. 칼라도플러 초음파의 TA는 흰색의 결석에서 갈색의 결석보다 미약하게 나타났다. 결석의 성분 중 인의 함유율이 높을수록 결석의 표면이 부드럽고 in vitro 실험에서 TA가 약하므로 이에 따른 연관성을 볼 수 있다. 초음파검사를 하면서 결석의 성분을 예측하는 것에 단편적인 역할을 할 수 있으며 이는 결과적으로 치료계획에 도움이 될 수 있을 것이다.

Reference

- [1] S. H. Kim, *Radiology Illustrated: Uroradiology*, Springer, 2003.
- [2] P. M. Kang, W. I. Seoand, D. I. Kang, "Analysis of Urinary Stone Composition: A Retrospective Single Center Study during the Last Five Years (2009-2013)", *Urogenital Tract Infection*, Vol. 9, No. 1, pp. 44-49, 2014.
<http://dx.doi.org/10.14777/kjutii.2014.9.1.44>
- [3] J. S. Jung, C. H. Han, S. R. Bae, "Study on the prevalence and incidence of urolithiasis in Korea over the last 10 years: An analysis of National Health Insurance Data", *Investigative and Clinical Urology*, Vol. 59, No. 6, pp. 383-391, 2018.
<http://dx.doi.org/10.4111/icu.2018.59.6.383>
- [4] N. Liu, K. Shan, R. Yang, X. Zhang, "Sonographic twinkling artifact for diagnosis of acute ureteral calculus", *World Journal of Urology*, Vol. 38, No. 2, pp. 489-495, 2020.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00345-019-02773-z>
- [5] S. L. Hagen-Ansert, *Textbook of diagnostic ultrasonography*, Mosby, 2001.
- [6] A. Rahmouni, R. Bargoin, A. Herment, N. Bargoin, N. Vasile, "Color Doppler twinkling artifact in hyperechoic regions", *Radiology*, Vol. 199, No. 1, pp. 269-271, 1996.
<http://dx.doi.org/10.1148/radiology.199.1.8633158>
- [7] J. R. Dillman, M. Kappil, W. J. Weadock, J. M. Rubin, J. F. Platt, M. A. DiPietro, R. O. Bude,

- "Sonographic Twinkling Artifact for Renal Calculus Detection: Correlation with CT", *Radiology*, Vol. 259, No. 3, pp. 911-916, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1148/radiol.11102128>
- [8] H. C. Kim, D. M. Yang, W. Jin, J. K. Ryu, H. C. Shin, "Color Doppler twinkling artifacts in various conditions during abdominal and pelvic sonography", *Journal of ultrasound in medicine*, Vol. 29, No. 4, pp. 621-632, 2010.
<https://doi.org/10.7863/jum.2010.29.4.621>
- [9] W. Shabana, R. O. Bude, J. M. Rubin, "Comparison Between Color Doppler Twinkling Artifact and Acoustic Shadowing for Renal Calculus Detection An In Vitro Study", *Ultrasound in Medicine & Biology*, Vol. 35, No. 2, pp. 339-350, 2009.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.023>
- [10] A. S. Khodair, A. M. Marzouk, "The diagnostic value of the twinkle sign in color Doppler imaging of urinary stones", *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, Vol. 45, No. 2, pp. 569-574, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrnm.2014.01.013>
- [11] B. Dunmire, F. C. Lee, R. S. Hsi, B. W. Cunitz, M. Paun, M. R. Bailey, M. D. Sorensen, J. D. Harper, "Tools to Improve the Accuracy of Kidney Stone Sizing with Ultrasound", *Journal of Endourology*, Vol. 29, No. 2, pp. 147-152, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1089/end.2014.0332>
- [12] H. S. Sim, K. T. Kwon, "Usefulness of Twinkling Artifacts in Color Doppler Ultrasonograph", *Journal of the Korea Contents Association*. Vol. 16, No. 10, pp. 291-298, 2016.
<http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.10.291>
- [13] M. Mitterberger, F. Aigner, L. Pallwein, G. M. Pinggera, R. Neururer, P. Rehder, F. Frauscher, "Sonographic detection of renal and ureteral stones: value of the twinkling sign", *International Brazilian Journal of Urology*, Vol. 35, No. 5, pp. 532-541, 2009.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-55382009000500004>
- [14] A. Turrin, P. Minola, F. Costa, L. Cerati, S. Andrulli, A. Trinchieri, "Diagnostic value of colour-Doppler twinkling artefact in sites negative for stones on B mode renal sonography", *Urological research*, Vol. 35, No. 6, pp. 313-320, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00240-007-0110-8>
- [15] N. Chelfouh, N. Grenier, D. Higuieret, H. Trillaud, O. Levantal, J. L. Pariente, P. Ballanger, "Characterization of urinary calculi: in vitro study of twinkling artifact revealed by color-flow sonography", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 171, No. 4, pp. 1055-1060, 1998.
<http://dx.doi.org/10.2214/ajr.171.4.9762996>
- [16] H. Tchelepi, P. W. Ralls, "Color Comet-Tail Artifact: Clinical Applications", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 192, pp. 11-18, 2009.
<http://dx.doi.org/10.2214/AJR.07.3893>
- [17] A. Kamaya, T. Tuthill, J. M. Rubin, "Twinkling artifact on color Doppler sonography: Dependence on machine parameters and underlying cause", *American journal of roentgenology*, Vol. 180, No. 1, pp. 215-222, 2003.
<http://dx.doi.org/10.2214/ajr.180.1.1800215>
- [18] J. S. Kim, B. S. Shim, "Chemical Qualitative Analysis of Urinary Calculi", *The Ewha Medical Journal*, Vol. 29, No. 1, pp. 55-59, 2006.
<https://doi.org/10.12771/emj.2006.29.1.55>
- [19] E. Rokni, J. C. Simon, "The effect of crystal composition and environment on the color Doppler ultrasound twinkling artifact", *Physics in Medicine & Biology*, Vol. 68, No. 3, 2023.
<https://doi.org/10.1088/1361-6560/acb2ad>
- [20] H. J. Kim, "Non-surgical treatment of urinary stone", *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 63, No. 1, pp. 668-676, 2020.
<http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2020.63.11.668>

색이 다른 요로결석에서 칼라도플러 초음파의 트윈클링허상의 특성: 체외 연구

이혜남^{1,2,*}

¹김상영내과 방사선과

²한서대학교 방사선학과

요 약

칼라도플러 초음파에서 요로결석의 종류에 따라 트윈클링 허상의 발생정도에 차이가 있는지 알아보려고 하였다. 색이 다른 두 종류의 요로결석에 대하여 물탱크에서 트윈클링 허상의 발생정도를 비교하고 결석의 표면과 성분을 분석하였다. 결석의 표면상태는 갈색의 결석에서 과립형 요철이 두드러져 보였다. 트윈클링 허상은 흰색의 결석에서 음향음영의 일부를 차지하는 1등급이 갈색의 결석에서 음향음영의 전체를 차지하는 2등급이 나타났다. 결석의 성분은 탄소와 산소를 제외한 칼슘과 인의 함유량이 가장 높게 나타났다. 결석성분 중 인의 함유량이 높을수록 결석표면이 매끄러우며 트윈클링 허상이 짧게 나타났다. 초음파검사로써 결석의 성분을 예측하기 위한 단편적인 역할을 기대할 수 있을 것이며 이는 결과적으로 치료계획에 도움이 된다.

중심단어: 요로결석, 칼라도플러 초음파검사, 트윈클링허상, 결석성분, 결석증

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	이혜남	김상영내과 방사선과 한서대학교 방사선학과	방사선사(ARDMS) 겸임교수