

## 영상진단을 이용한 담석의 성분예측에 관한 연구

- 초음파, 전산화단층촬영 및 자기공명영상을 중심으로 -

연세대학교 의과대학 내과학교실, 방사선과학교실\* 및 소화기병연구소

박승우 · 송시영 · 강진경 · 유형식\* · 정재복 · 박인서 · 이은섭

### = Abstracts =

#### The Role of Ultrasonography, Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging in Prediction of Gallstone Composition

**Seung Woo Park, M.D., Si Young Song, M.D., Jin Kyung Kang, M.D., Hyung Sik Yoo, M.D.,\***  
**Jae Bock Chung, M.D., In Suh Park, M.D. and Eun Sub Lee**

*Division of Gastroenterology, Department of Internal Medicine, and \*Radiology,  
Institute of Gastroenterology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

**Background/Aims:** To predict the gallstone composition for nonsurgical treatment, various imaging techniques have been used. One such technique that several researchers have recently showed interest in magnetic resonance imaging(MRI). However, the usefulness of this technique has yet to be studied. Thus, the purpose of this study is to compare the effectiveness of ultrasonography(US), computed tomography(CT), and MRI for the prediction of gallstone composition. **Methods:** Thirty-nine cases of gallstones removed surgically were used. The findings of each imaging studies in vitro were compared with the type of stone classified according to the cholesterol content measured by infrared spectrophotometry. **Results:** Infrared spectrophotometry showed that seventeen cases were cholesterol, 8 mixed, and 14 pigment stones. When US findings were classified into shooting star, crescent, half-moon, full-moon and star-dust pattern, a single pattern was noted in 19 cases, and two or three patterns were noted in the remaining 20 cases. There was no correlation between the US patterns and gallstone types. CT findings were classified into dense(7 cases), faint(4 cases), hypodense(4 cases), rimmed(10 cases) and laminated(4 cases) patterns. Higher incidence of cholesterol stones was found in hypodense(4/4) and rimmed(6/10) patterns, while the occurrence of pigment stones was higher in the dense(11/17) pattern. In MRI, while T1-weighted images showed visibly increased signal in 34 of the 39 cases, 17 cases were signal void on T2-weighted

접수: 1995년 2월 17일, 승인: 1995년 4월 25일

연락처: 강진경, 서울특별시 서대문구 신촌동 134, 신촌세브란스병원 내과

images. There was no correlation between signal intensity and cholesterol or calcium content. MRI findings were categorized into dark(5 cases), faint(1 case), bright(2 cases), rimmed(7 cases), laminated(13 cases) and central sunburst(13 cases) patterns. There was higher incidence of Cholesterol stones in the central sunburst pattern(10/11), while pigment stones occurred more in rimmed(5/7), laminated(6/13), and bright(2/2) patterns. The sensitivity, specificity, positive and negative predictive value for the prediction of cholesterol stone were 58.8%, 81.8%, 71.4% and 72.0% by CT, and 64.7%, 95.5%, 91.7% and 77.8% by MRI, respectively. **Conclusions:** US has no value in predicting the composition of gallstones, while CT and MRI seem to have some predictive power. However, MRI has higher specificity and negative predictive value than CT, and therefore MRI is expected to have more clinical usefulness. (**Korean J Gastroenterol** 1995;27: 213 - 227)

**Key Words:** Prediction of gallstone composition, Ultrasonography, Computed tomography, Magnetic resonance imaging

## 서 론

담석증은 담도계에서 가장 흔한 질환으로, 50세 이전에는 5~15%, 50세 이후에는 25%의 유병률을 보인다.<sup>1,2</sup> 과거에는 담석증의 치료로 수술에 의존하였기 때문에 담석의 존재유무 확인이 가장 중요한 관심사였고 담석의 구성성분 분석은 기초연구를 위해서만 시행되어 졌다. 그러나 최근에는 비수술적 치료법으로 CDCA(chenodeoxycholic acid)나 UDCA (ursodeoxycholic acid)와 같은 담즙산의 경구투여, MTBE(methyl-*tert*-butyl-ether) 및 monooctanoin과 같은 담석용해제의 담낭내 투여 및 체외충격파쇄석술 등의 다양한 치료법들이 개발되어 점차 널리 시도되고 있다.<sup>3,4</sup> 이러한 비수술적 치료는 콜레스테롤 석에 한하여 효과적이므로 담석의 수 및 크기와 아울러 담석의 구성성분이 치료의 성패를 좌우하는 중요한 요인이며,<sup>5,7,9,10</sup> 사진에 담석의 성분을 예측하기 위하여 다양한 영상진단법이 이용되어 왔다. 현재까지 단순복부X선촬영,<sup>11</sup> 경구담낭조영술,<sup>12-14</sup> 초음파 검사<sup>15-18</sup> 및 전산화단층촬영<sup>18-24</sup> 등이 이용되고 있는데, 보고자에 따라 다소 차이가 있으나 콜레스테롤 석이 80% 정도를 차지하는 서양에서 콜레스테롤 석 예측의 민감도와 특이도는 약 90% 정도로 알려지고 있다.<sup>1,2,25,26</sup> 그러나 서양과는 달리 색소성결석 및 혼

합석이 많은 우리나라에서 이를 검사법들의 성적을 그대로 적용하기에는 다소 문제점이 있을 것으로 생각되며 아직까지 이에 대한 보고가 거의 없었다.<sup>27,28</sup> 최근에는 자기공명영상검사를 이용하여 담석의 성분을 예측하려는 시도가 드물게 있으나,<sup>21,29,31</sup> 그 역할은 확실하지 않으며, 아직까지 국내에서 자기공명 영상을 시행하였거나 자기공명영상 검사법과 초음파 또는 전산화단층촬영 등의 영상검사법간의 콜레스테롤석 판정의 정확도를 비교한 보고는 없다.

저자들은 수술로써 얻은 39예의 담석을 이용하여 *in vitro*에서 초음파, 전산화단층촬영 및 자기공명영상검사를 시행하고, 적외선흡수분광법 및 원자흡수분광법으로 측정한 담석의 콜레스테롤 및 칼슘 함량과 비교하여, 담석의 성분예측에 대한 각 검사법의 유용성을 알아보고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상

1991년 3월부터 1991년 8월까지 세브란스병원에 입원하여 담석증으로 담낭절제술을 시행받은 39예의 환자에서 얻은 담석 중 장경이 5 mm 이상인 것을 대상으로 하였다. 대상환자의 남녀비는 1.64:1이었으며 연령분포는 31세에서 59세까지 였다. 담석의 크기는 장경 5~56(평균 17.3) mm 이었다. 담석은

전조후 냉동보관하였으며, 영상검사를 시행하기 전에 생리식염수에 재수화시켰다.

## 2. 방법

### 1) 초음파검사

각각의 담석을 탈기수가 채워진 콘돔에 넣고 초음파검사를 시행하였다. 초음파기기는 Sonolayer SSA-270A(Toshiba Co, Japan)로 3.5 MHz의 탐촉자를 사용하였고 초음파소견에 따라 shooting-star형, crescent형, half-moon형, full-moon형, star-dust형으로 분류하였다(Fig. 1). Shooting-star형은 전면에 강한 에코를 보이면서 후방으로 에코가 감쇠해가는 형, crescent형은 전면에 초승달모양의 강한 에코를 보이면서 후방음영이 명료한 형, half-moon형은 전면에 반월 모양의 강한 에코를 보이면서 후방음영이 명료한 형, full-moon형은 담석 전체가 강한 에코를 보이면서 윤곽이 명확한 형, star-dust형은 다수의 부정형 에코로 보이며 후방음영은 약하거나 관찰되지 않는 형이다. 각각의 담석에서 초음파의 검사방향에 따라 관찰되는 유형이 다양한 경우에는 보이는 모든 영상을 기록하였다.

### 2) 전산화단층촬영

전산화단층촬영에 사용된 기기는 Tomoscan LX (Philips Co, Netherlands)로 5% agarose gel로 채워진 phantom에 담석을 넣고 관전압 120 kVp 및 관전류 75 mAs의 조건으로 5 mm의 collimation과 5 mm의

간격으로 검사를 시행하였다. 전산화단층촬영소견은 dense형, faint형, hypodense형, rimmed형, laminated형으로 분류하였다(Fig. 2). dense형은 담석전체에 균일한 음영을 보이면서 Hounsefield unit(HU)가 100 이상인 형, faint형은 균일한 음영을 보이면서 HU가 50~100 인 형, hypodense형은 균일한 음영을 보이면서 HU가 50 이하인 형, rimmed형은 담석의 가장자리에 밀도가 증가된 고리모양을 보이는 형, laminated형은 rimmed형이 아니면서 고밀도와 저밀도부위가 교차하여 층상구조로 보이는 형으로 정의하였으며, 담석의 구성성분을 모르는 방사선과의가 판독하였다. HU는 균일한 밀도를 가지는 경우에는 담석의 중앙에서 측정을 하였고, rimmed형 또는 laminated형인 경우에는 각 고밀도부위 및 저밀도부위에서 측정을 한 뒤 면적에 따른 평균값을 구하여 담석의 콜레스테롤 및 칼슘 함량과의 상관관계를 분석하였다.

### 3) 자기공명영상촬영

5% agarose gel로 채워진 phantom에 담석을 넣고 자기공명영상촬영을 시행하였다. 사용된 자기공명영상촬영기기는 1.5 T unit의 GE signa로 T1 및 T2 강조영상을 얻었다. T1 강조영상은 반복시간 500 msec, 에코시간 14 msec로, T2 강조영상은 반복시간 4,500 msec, 에코시간 80 msec로 촬영하였다. T1 강조영상에서는 39예중 34예에서 자기공명영상 신호가 관찰된 반면, T2 강조영상에서는 39예중 22예에

Fig. 1. Classification of gallstone according to ultrasonographic findings.

Fig. 2. Classification of gallstone according to computed tomographic findings.

Fig. 3. Classification of gallstone according to magnetic resonance imaging patterns.

서만 신호가 관찰되어 TI 강조영상을 이용하여 분석하였다. 자기공명영상신호의 강도는 담석의 신호강도를 측정한 뒤 5% agarose gel에 대한 신호강도의 비를 구하여 콜레스테롤 또는 칼슘 함량에 따른 상관관계를 분석하였다. 자기공명영상소견의 유형은 6가지로 분류하였는데, 영상신호가 없는 경우를 dark형, 담석전체에 약한 영상신호만 보이는 faint형, 담석 전체에서 강한 영상신호를 보이는 bright형, 담석의 가장자리에만 강한 영상신호를 보이고 중앙에 영상신호가 없는 rimmed형, 충상구조의 영상신호를 보이는 laminated형, 담석 주변부 영상신호는 없으면서 중앙에서만 불규칙한 방사형 구조의 영상신호를

보이는 central sunburst형으로 분류하였다(Fig. 3). 자기공명영상소견 역시 담석의 구성성분을 모르는 방사선과의가 판독한 후 각각의 유형과 담석의 구성성분간의 상관관계를 조사하였다.

#### 4) 담석의 구성성분 분석

##### (1) 콜레스테롤 분석

담석의 콜레스테롤 성분은 일본 Shimadzu사의 적외선흡수분광계를 이용하여 다음과 같은 순서로 분석하였다. 먼저, 완전히 건조된 담석을 곱게 빻은 후 1 mg을 취한 다음, KBr 100 mg을 첨가하여 골고루 혼합한 후 강철제 판위에 올려 놓고 8,000 kg/cm<sup>2</sup>으로 가압하여 얇은 디스크를 만들었다. 디스크를 적

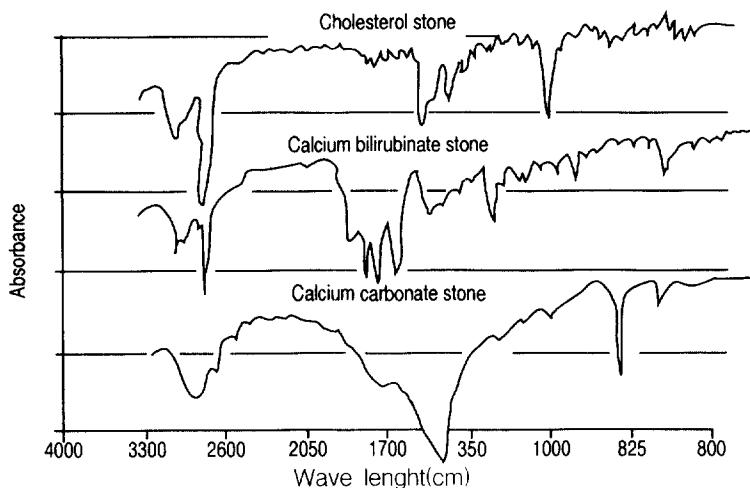


Fig. 4. Infrared spectrophotometric findings according to the composition of gallstone.

외선흡수분광계에 올려 놓고 분광상을 관찰하였다. 화학적 성분에 따른 고유한 파장을 이용하여 최고점을 중심으로 담석을 분류하였고 baseline법을 이용하여 콜레스테롤 함량을 정량하였다(Fig. 4). 콜레스테롤의 함량에 따라 콜레스테롤성분이 70% 이상인 담석을 콜레스테롤석, 콜레스테롤성분이 20~70%인 담석을 혼합석, 콜레스테롤성분이 20% 미만인 담석을 색소성결석으로 분류하였다.

## (2) 칼슘 분석

칼슘함량은 Shimadzu사의 원자흡수분광계(atomic absorption spectrometry)를 이용하여 다음과 같이 정량하였다. 건조된 담석가루 1~2 mg을 취하여 농축된 nitric acid와 perchloric acid를 첨가하여 150°C에서 칼슘을 용해시킨 후 원자흡수분광계를 이용하여 정량하였다.

## 5) 통계처리

통계처리는 Chi-square test, ANOVA, Student's t-test 및 Regression analysis를 이용하였다.

## 결 과

### 1. 구성성분에 의한 담석의 분류

39예 중 콜레스테롤석은 17예(43.6%), 혼합석 8예(20.5%), 색소성결석은 14 예(35.9%) 이었다. 결석의 종류별 콜레스테롤 평균 함량은 콜레스테롤석의 경

우  $84.3 \pm 8.3\%$ , 혼합석  $42.1 \pm 10.9\%$ , 및 색소성결석은  $7.4 \pm 4.7\%$ 이었고, 칼슘의 평균 함량은 콜레스테롤석  $8.7 \pm 5.9\%$ , 혼합석  $22.0 \pm 13.5\%$ , 색소성결석  $25.2 \pm 9.1\%$ 로, 콜레스테롤석이 혼합석 및 색소성결석에 비해 통계적으로 의미있게 콜레스테롤 함량이 높았으며 칼슘함량이 낮았다( $p < 0.05$ )(Table 1).

### 2. 초음파소견에 의한 담석의 구성성분 예측

초음파소견을 shooting-star, crescent, half-moon, full-moon, star-dust형으로 분류하여 분석하였을 때 담석의 종류와 초음파소견의 상관관계는 없었다(Table 2). 탐촉자의 방향을 달리하여 관찰하였을 때 단일유형만 관찰된 경우는 19예, 두가지 유형으로 관찰된 경우는 17예, 세가지 유형으로 관찰된 경우 3예로, 검사방향에 따라 다양한 유형을 보이는 경우가 총 20예(51.3%) 이었다(Table 3).

### 3. 전산화단층촬영소견에 의한 담석의 구성성분 예측

전산화단층촬영상 dense형은 17예(43.5%), faint형 4예(10.3%), hypodense형 4예(10.3%), rimmed형 10예(25.6%) 및 laminated형은 4예(10.3%) 이었는데, hypodense형(100%) 또는 rimmed형(60.0%)인 경우에는 콜레스테롤석이, dense형(64.7%)인 경우에는 색소성결석이 많았다(Table 4). 전산화단층촬영소견

**Table 1.** Cholesterol and Calcium Content According to the Type of Gallstone

Type of gallstone	No. (n=39)	Cholesterol (%)	Calcium (%)
Cholesterol	17(43.6)	84.3 $\pm$ 8.3*	8.7 $\pm$ 5.9*
Mixed	8(20.5)	42.1 $\pm$ 10.9	22.0 $\pm$ 13.5
Pigment	14(35.9)	7.4 $\pm$ 4.7	25.2 $\pm$ 9.1

Values are given as mean  $\pm$  SE.

( ), %; \*, P &lt; 0.05 vs. mixed and pigment stone.

에 따른 HU의 평균값은 색소성결석이 많았던 dense형에서 426.5  $\pm$  464.0으로 가장 높았고 콜레스테롤석이 많았던 hypodense형에서는 -210.7  $\pm$  215.0으로 가장 낮았으며(p < 0.05), 콜레스테롤 함량은 콜레스테롤석이 많았던 hypodense형에서 79.2  $\pm$  5.5%로 가장 높았고, 색소성결석이 많았던 dense형에서 30.2  $\pm$  35.5%로 가장 낮았다(p < 0.05)(Table 5). 콜레스테롤 및 칼슘 함량에 따른 HU와의 상관관계를 조사하였던 바, HU와 콜레스테롤 함량은 역비례의 상관관계

**Table 2.** Type of Gallstone According to the Ultrasonographic Findings

Findings	Cholesterol	Mixed	Pigment	Total
Shooting star	6(46.2)	2(15.4)	5(38.4)	13(100)
Crescent	2(40.0)	2(40.0)	1(20.0)	5(100)
Half-moon	8(47.1)	5(29.4)	4(23.5)	17(100)
Full-moon	12(48.0)	4(16.0)	9(36.0)	25(100)
Star-dust	-	-	2(100)	2(100)
Total	28(45.1)	13(21.0)	21(33.9)	62(100)

( ), %.

**Table 3.** Diversity of the Ultrasonographic Findings

Type of gallstone	Ultrasonographic findings			Total
	Single pattern	Two patterns	Three patterns	
Cholesterol	8(47.1)	7(41.1)	2(11.8)	17(100)
Mixed	3(37.5)	5(62.5)	-	8(100)
Pigment	8(57.1)	5(35.7)	1( 5.9)	14(100)
Total	19(48.7)	17(43.6)	3( 7.7)	39(100)

( ), %.

**Table 4.** Type of Gallstone According to the Computed Tomographic Findings

Findings	Cholesterol	Mixed	Pigment	Total
Dense	4(23.5)	2(11.8)	11(64.7)	17(100)
Faint	1(25.0)	3(75.0)	-	4(100)
Hypodense	4(100)	-	-	4(100)
Rimmed	6(60.0)	3(30.0)	1(10.0)	10(100)
Laminated	2(50.0)	-	2(50.0)	4(100)
Total	17(43.6)	8(20.5)	14(35.9)	39( 100)

( ), %.

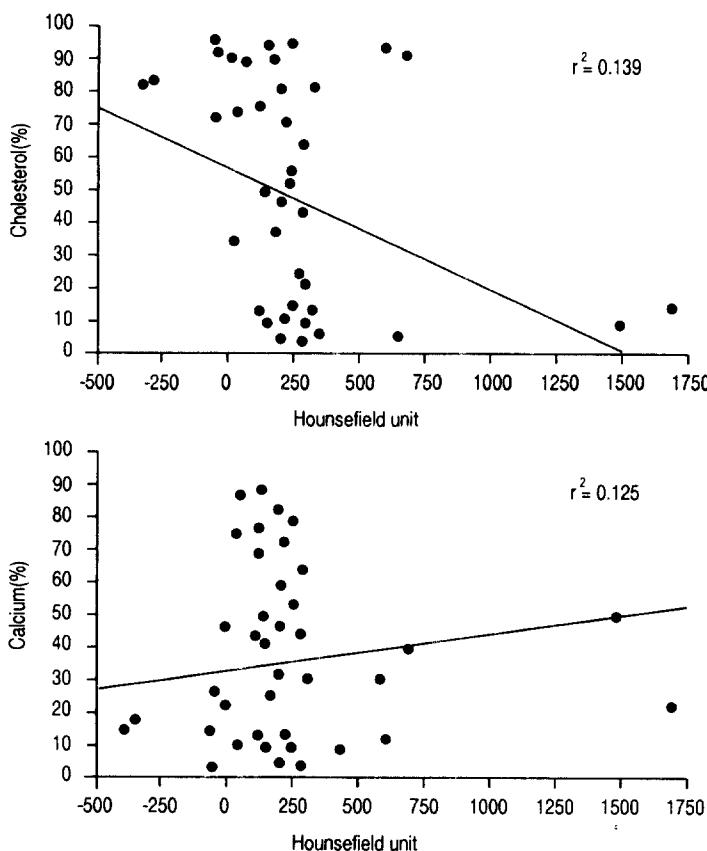
**Table 5.** Hounsefield Unit, Cholesterol and Calcium Content According to the Computed Tomographic Findings

Findings	Hounsefield unit	Cholesterol (%)	Calcium (%)
Dense (n=17)	426.5 ± 464.0*	30.2 ± 35.5*	21.3 ± 12.0#
Faint (n= 4)	78.7 ± 20.9	53.5 ± 15.5	28.7 ± 10.8*
Hypodense (n= 4)	-210.7 ± 215.0	79.2 ± 5.5	9.8 ± 2.9
Rimmed (n=10)	18.6 ± 77.4	62.2 ± 32.2	10.0 ± 7.2
Laminated (n= 4)	156.4 ± 22.8	51.7 ± 45.4	15.4 ± 12.9

Values are given as mean ± SE.

# P&lt;0.05 vs. rimmed pattern.

\* P&lt;0.05 vs. hypodense and rimmed pattern.

**Fig. 5.** Correlation between Hounsefield unit and cholesterol or calcium content in computed tomography. p<0.05, Hounsefield unit vs. cholesterol content.

가 있었으나( $p<0.05$ ,  $r=0.373$ ), 칼슘 함량과는 상관 관계가 없었다( $r=0.124$ )(Fig. 5).

#### 4. 자기공명영상소견에 의한 담석의 구성성분 예측

T1 강조영상에서 신호를 보였던 경우는 39예 중

34예 이었던 반면, T2 강조영상에서는 39예 중 22예에서만 신호가 관찰되었다. 보다 많은 예에서 영상 신호가 관찰되었던 T1 강조영상소견을 기준으로 분류하였을 때, laminated형이 13예 (33.4%)로 가장 많았고, central sunburst형 11예(28.2%), rimmed형이 7예(17.9%), dark형 5예(12.8%), bright형 2예(5.1%),

**Table 6.** Type of Gallstone According to the Findings of Magnetic Resonance Imaging

Findings	Cholesterol	Mixed	Pigment	Total
Dark	2(40.0)	2(40.0)	1(20.0)	5(100)
Faint	1(100)	-	-	1(100)
Bright	-	-	2(100)	2(100)
Rimmed	2(28.6)	-	5(71.4)	7(100)
Laminated	2(15.4)	5(38.5)	6(46.1)	13(100)
Central sunburst	10(90.9)*	1(9.1)	-	11(100)
Total	17(43.6)	8(20.5)	14(35.9)	39(100)

( ), %.

\* P&lt;0.05 vs. mixed.

및 faint형 1예(2.6%)의 순이었다. 각 유형에 따른 담석의 종류를 분석한 결과, faint형(100%) 또는 central sunburst형(90.9%)인 경우에는 콜레스테롤석 9], bright형(100%), rimmed형(71.4%) 또는 laminated형(46.1%)인 경우에는 색소성결석이 많았다 (Table 6). 자기공명영상에 따른 유형별 콜레스테롤 및 칼슘 함량은 central sunburst형에서 콜레스테롤 함량이 77.8±18.5%로 다른 유형에 비해 통계적으로 의미있게 콜레스테롤 함량이 많았고 칼슘 함량은 11.7±4.9%로 의미있게 낮았으나(Table 7), 자기공명영상의 신호강도와 콜레스테롤 또는 칼슘 함량 사이에 상관관계는 없었다(Fig. 6).

### 5. 각 검사의 민감도, 특이도 및 예측도

전산화단층촬영소견상 hypodense형 또는 rimmed형을 콜레스테롤석, dense형인 경우를 색소성결석으로 판정하였을 때 콜레스테롤석 판정의 민감도, 특이도, 양성예측도 및 음성예측도는 각각 58.8%, 81.8%, 71.4% 및 72.0% 이었고, 색소성결석은 각각 78.6%, 76.0%, 64.7% 및 86.4% 이었다(Table 8). 자기공명영상소견상 central sunburst형 및 faint형을 콜레스테롤석, bright형, rimmed형 및 laminated형을 색소성결석으로 판정하였을 때 콜레스테롤석 판정의 민감도, 특이도, 양성예측도 및 음성예측도는 각각 64.7%, 95.5%, 91.7% 및 77.8% 이었고 색소성결석은 각각 92.9%, 64.0%, 59.1% 및 94.1% 이었다(Table 8). 한편, 전산화단층촬영상 rimmed형 또는 hypodense형이면서 자기공명영상검사상 central sunburst형 또

**Table 7.** Cholesterol and Calcium Content According to the Findings of Magnetic Resonance Imaging

Findings	Cholesterol(%)	Calcium(%)
Dark (n=5)	56.9 ± 36.9	7.8 ± 6.5
Faint (n=1)	80.1	0.8
Bright (n=2)	6.1 ± 3.9	24.3 ± 7.7
Rimmed (n=7)	29.8 ± 41.7	20.6 ± 15.1
Laminated (n=13)	33.2 ± 27.0	24.3 ± 11.2#
Central sunburst(n=11)	77.8 ± 18.5*	11.7 ± 4.9

Values are given as mean ± SE.

MRI, Magnetic resonance imaging.

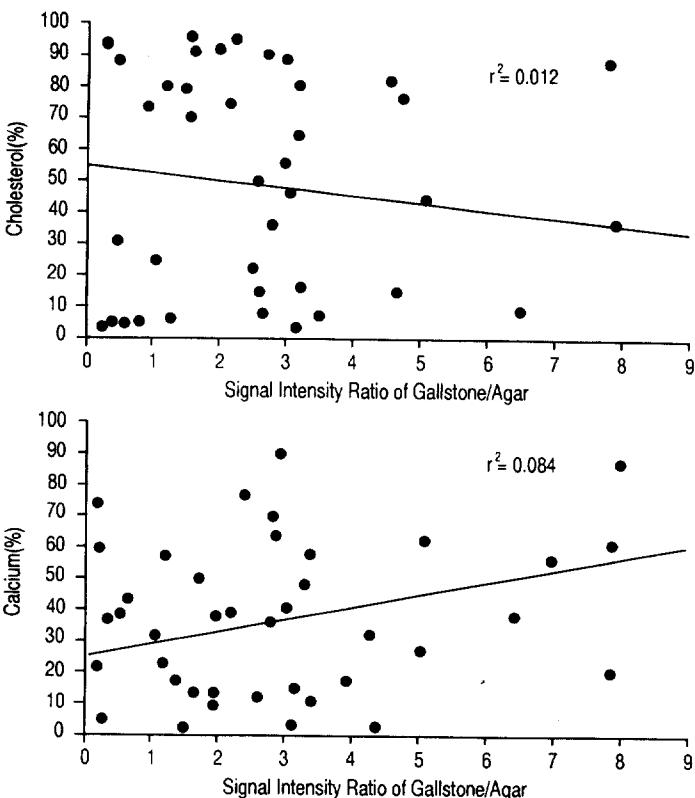
\* P&lt;0.05 vs. bright, rimmed, laminated pattern.

# P&lt;0.05 vs. dark, faint, central sunburst.

는 faint형인 경우(9예)를 콜레스테롤석, 전산화단층촬영상 dense형이면서 자기공명영상검사상 bright형, rimmed형 또는 laminated형인 경우(14예)를 색소성결석으로 하였을 때 콜레스테롤석 판정의 민감도, 특이도, 양성예측도 및 음성예측도는 각각 47.1%, 95.5%, 89.9% 70.0% 이었고, 색소성결석은 각각 71.4%, 84.0%, 71.4% 및 84.0% 이었다(Table 8).

### 고 찰

최근들어 담낭결석의 치료로 담즙산의 경구투여, mono-octanoin 또는 MTBE (methyl-*tert*-butyl-ether)와 같은 담석용해제의 담낭내 투여 및 체외충격파쇄석술 등의 다양한 비수술적 치료법이 개발되어 점차 그 이용범위가 넓어지고 있다.<sup>1-8</sup> Chenodeoxycholic



**Fig. 6.** Correlation between signal intensity ratio of gallstone/agar and cholesterol or calcium content in MRI.

**Table 8.** Sensitivity, Specificity, Positive and Negative Predictability of the Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging

Imaging study	Sensitivity	Specificity	Positive predictability	Negative predictability
CT	55.8%	81.8%	71.4%	72.0%
MRI	64.7%	95.5%	91.7%	77.8%
CT + MRI	47.1%	95.5%	89.9%	70.0%

CT, computed tomography; MRI, magnetic resonance imaging.

acid(CDCA)나 ursodeoxycholic acid(UDCA)와 같은 경구용 담즙산 투여시 치료 성공률은 보고자에 따라 20~70% 정도로 다양한데 이는 대상환자의 선택, 치료용량, 및 치료기간 등의 차이에 기인하기 때문으로 생각되며, 경구담낭조영술상 5 mm 이하의 부유 담석만을 대상으로 할 때 70%까지 향상시킬 수 있고,<sup>32</sup> 담석의 크기가 큰 경우에는 체외충격파쇄석술로 담석을 분쇄한 후에 경구용 담석용해제를 투여하-

면 84~94% 까지의 높은 성공률을 기대할 수 있다 고 보고되었다.<sup>6,8</sup> 한편, MTBE와 같은 담석용해제를 직접 담낭내로 투여하면 방사성투과성 담석의 81~%에서 용해가 가능하다.<sup>4,9</sup> 그러나 이러한 비수술적 치료는 콜레스테롤석에 한하여 좋은 성적을 기대할 수 있는 방법이기 때문에 담석의 수 및 크기와 아울 라 담석의 구성성분이 치료의 성패를 좌우하는 주요 요소이므로,<sup>6,7,10</sup> 비수술적 치료로 좋은 성적을 얻을

수 있는 콜레스테롤 석을 미리 예측하고자 다양한 영상진단법을 이용한 시도가 있어 왔다.

담석은 구성성분중 콜레스테롤이 차지하는 함량에 따라 콜레스테롤석, 혼합석 및 색소성담석으로 분류하거나, 육안적인 모양에 따라 콜레스테롤석, 색소성결석(갈색 및 흑색 색소성결석)으로 분류하기도 하며, 주 구성성분에 따라 콜레스테롤석, 탄산칼슘석, 빌리루빈칼슘석, calcium steatorate 석, calcium palmitate 석 등으로 분류하기도 하는데, 비수술적 치료법의 성공여부를 예측하기 위해서는 콜레스테롤석과 비콜레스테롤석으로 대별하는 것이 편리하다. 본 연구에서도 콜레스테롤 함량에 따라 콜레스테롤석, 혼합석 및 색소성결석으로 분류하였다.

담석의 구성성분을 분석하는 방법에는 화학적 분석법, 방사선 회절법, 적외선 흡수 분광법, 및 특정 성분을 용해한 후 분석하는 크로마토그라피법 등이 있다. 이중 화학적 분석법과 크로마토그라피법은 미량의 담석으로도 정확하게 정량할 수 있는 장점이 있으나 시간이 많이 소요되고 유기 용매에 용해되지 않는 성분은 분석할 수 없다는 단점이 있다.<sup>33-36</sup> 방사선 회절법은 비용해성분을 분석하는 방법으로 결정체 분석은 용이하나, 비결정성 성분은 분석이 불가능하다. 반면에 적외선 흡수 분광법은 담석을 브롬화칼륨과 혼합하여 얇은 원판을 제조한 후에 분자 내 운동의 고유한 파장을 관찰하여 측정하는 방법으로 유기질과 무기질뿐만 아니라 결정성이나 용해성에 관계없이 빠른 시간내에 분석이 가능하며 정성 및 정량분석이 가능하다는 장점이 있으나, 화학적 분석법에 비하여 정량분석이 정확하지 못하다는 단점이 있다.<sup>37,38</sup> 그러나, 화학적으로 분석할 때 용해되지 않는 성분의 상당부분이 콜레스테롤성분이므로 콜레스테롤 함량의 분석은 적외선 흡수 분광법으로 측정하는 것이 정확하며, 비용해성 성분이 5% 이하인 경우에는 적외선 흡수 분광법과 화학적 분석법으로 측정한 콜레스테롤 함량이 정비례한다고 알려져 있다.<sup>39</sup> 본 연구에서는 콜레스테롤 함량은 적외선 흡수 분광법으로 측정을 하여 baseline 방법으로 정량하였고, 칼슘 함량은 화학적 분석법인 원자흡수분광법으로 측정하였다.

담석의 구성성분을 영상검사를 이용하여 예측하

려는 노력은 단순복부촬영과 경구담낭조영술의 연구에서 시작되었다. 담석중 방사선 투과성 담석이 80%를 차지하고 이중 86%는 콜레스테롤석이며 방사선 비투과성 담석의 67%는 색소성결석이라고 보고된 바 있다.<sup>11</sup> Dolgin 등<sup>12</sup>은 경구담낭조영술상 방사선 투과성 담석, 7 mm 이상인 담석, 갯수가 10개 이상인 담석, 중앙보다는 변연부에 석회화가 있는 담석 및 부유담석인 경우에 콜레스테롤석일 가능성성이 높고 콜레스테롤석 판정의 민감도는 95%, 특이도는 82%였으며, 이중 콜레스테롤석 예측에 가장 신빙성 있는 소견은 부유담석의 경우라고 하였다. 그러나 콜레스테롤석중 경구 담낭조영술상 부유담석의 소견을 보이는 경우는 단지 35% 정도이므로 민감도는 낮다.<sup>12,13</sup> 한편 64예의 담석증 환자에서 MTBE를 이용한 담석용해요법을 시행한 보고에서는 방사선 투과성 담석은 81%에서 완전 용해된 반면, 방사선 비투과성 담석은 6%에서만 용해되어 방사선 투과성 담석에서 좋은 치료효과를 기대할 수 있다고 하였다.<sup>9</sup> 그러나, 콜레스테롤석이 80% 이상을 차지하는 서양과는 달리, 색소성 결석이 반수 이상을 차지하는<sup>27,28</sup> 우리나라에서 치료효과를 향상시키기 위해서는 콜레스테롤석 예측의 민감도 보다는 특이도가 높은 검사방법이 보다 유용하다고 생각된다.

담석의 구성성분 예측에 있어서 초음파검사의 역할은 아직 확실하지 않다. 초음파소견에 따른 분류 역시 보고자에 따라 다양한데, 연구자와 같은 방법으로 분류한 경우에서 콜레스테롤석은 shooting star 형 또는 crescent형, 빌리루빈석은 주로 crescent형과 full-moon형, 탄산칼슘석은 full-moon형과 half-moon형, 인산칼슘석은 full-moon형인 경우가 많았으며,<sup>17</sup> 초승달모양으로 보이면서 다양한 형태의 내부 에코를 보이는 경우 즉, half-moon형 또는 shooting star 형인 경우에 콜레스테롤석인 예가 많다는 보고도 있다.<sup>18</sup> 그러나, 담석의 구성성분을 예측하는데 있어서 초음파검사가 전혀 도움이 되지 않는다는 상반된 보고도 있다.<sup>15,16</sup> 본 연구에서는 콜레스테롤석이 많다고 보고된 shooting star형, crescent형, 및 half-moon 형에서 비콜레스테롤석이 각각 63.8%, 60%, 및 52.9% 정도나 차지하고 있었고 초음파소견과 담석의 종류간에 상관관계가 없었다(Table 2). 또한, 탐

**Fig. 7.** Diversity of ultrasonographic patterns in a same gallstone. Both full-moon and shooting star patterns are noted in a mixed stone(A). Both crescent and full-moon patterns are showing in a pigment stone(B). Both full-moon and crescent patterns are noted in a cholesterol stone(C).

축자의 검사방향에 따라 2가지의 초음파소견을 보이는 경우가 17예(43.6%), 3가지 유형으로 보이는 경우가 3예(7.7%)로, 단일 결석이라도 그 유형이 다양하여(Table 3)(Fig. 7) 초음파소견으로 담석의 종류를 예측하기는 어렵다고 생각된다. 아울러 경구담낭조영술에서는 담낭내에 조영제가 놓축되면서 담즙의 밀도가 증가되어 상대적으로 밀도가 낮은 콜레스테롤석이 부유하게 되는 반면에, 초음파검사시에는 부유담석을 확인할 수 있으며,<sup>14</sup> 담석의 후방 및 측방음영으로 인하여 크기를 정확히 측정할 수 없다는 단점이 있다.<sup>13</sup> 따라서 초음파검사는 담석의 진단에 있어서는 다른 어느 검사보다도 우수한 방법이나 담석의 구성성분 예측에 있어서는 그 역활이 크지 않을 것으로 생각된다.

담석의 진단에 있어서 전산화단층촬영은 초음파 검사보다 그 유용성이 떨어지지만, 소량의 칼슘성분 까지 확인할 수 있어서 담석의 구성성분을 예측하는데에는 초음파검사보다 민감한 검사법으로 알려져 있다.<sup>39</sup> 연구자의 경우 담석의 전산화단층촬영소견 중 hypodense형 또는 rimmed형의 경우에서 콜레스테롤석이 많았는데, 다른 보고에서도 석회화가 없거나 담석의 일부 중앙 또는 변연부에만 석회화가 있는 경우에 콜레스테롤석이 많다고 보고하였다.<sup>18-21,31-39</sup> 한편, 석회화가 없는 경우에는 콜레스테롤석으로 예측이 용이하지만 일부분에 국한되어 석회화가 있는 경우에는 비콜레스테롤석일 가능성도 많으므로 전산화단층촬영소견에 따른 결석의 밀도를 수치화한 HU를 이용하여 콜레스테롤석을 예측하고자 한 보고들이 있다. 평균 HU치를 140으로 정한 보고에서는 콜레스테롤석 예측의 민감도가 94.6

%, 특이도가 76.9% 이었다고 하였으며,<sup>22</sup> 50을 기준 HU로 하였을 때 50 이하인 경우는 모두 콜레스테롤석이었으며 in vitro에서 CDCA를 투여하였을 때 전례 모두 3주이내에 용해되었다고 보고하였고,<sup>19</sup> HU 기준치를 90으로 주장한 보고도 있다.<sup>20,40</sup> 그러나 임상적으로 전산화단층촬영소견만으로 색소성담석을 콜레스테롤석과 구별하는 것은 불가능하다는 보고도 있다.<sup>24,41</sup> 본 연구에서는 HU치 140을 기준으로 하였을 때 콜레스테롤석 17예중 5예가 140 이상이었으며 콜레스테롤석 예측의 민감도는 70.6%, 특이도는 68.2 %로 외국의 보고에 비하여 낮았다. 이는 우리나라의 경우 서양보다 혼합석 또는 색소성결석 특히 칼슘빌리루빈이 주성분인 갈색 색소성결석이 많기 때문으로 생각된다. 이의 근거로는 첫째, 담도 계 감염과 관련된 갈색 색소성담석은 콜레스테롤 함량이 5% 미만인 흑색 색소성담석과는 달리 콜레스테롤 함량이 10~30%에 이르며, 지방산이 20~30%를 차지하기 때문에 색소성담석이면서도 HU가 낮을 수 있다<sup>25,26,42-44</sup>. 둘째, 본 연구에서 콜레스테롤석 17예중 유형에 따른 분류상 hypodense형을 보였던 4 예를 제외하고 13예에서 부분적인 석회화가 관찰되었는데 칼슘 성분을 매우 민감하게 측정할 수 있는 전산화단층촬영의 특성상 석회화된 담석의 면적이 실제보다 넓게 나타났을 가능성이 있다. 셋째, 우리나라의 경우 순수 콜레스테롤석은 적고 칼슘빌리루빈, 탄산칼슘 및 인산칼슘 등의 색소성 성분이 함유되어 있어서 부분적인 석회화를 보이는 경우가 많은 혼합석이 많기 때문에 생각된다. HU는 담석의 콜레스테롤 또는 칼슘 함량과 상관관계가 있다고 알려져 있는데,<sup>19,20,22,23</sup> 본 연구에서 HU는 담석의 콜레스

테를 함량과 반비례하였으나, 칼슘 함량과는 상관관계가 없었다. 이는 결석내 칼슘 함량의 변위가 10~30% 정도로 작았고, 소량의 석회화만 존재해도 HU가 현저하게 상승하는 전산화단층촬영의 특성 때문으로 생각된다.

담석의 자기공명영상소견에 대한 보고는 매우 드물다. 초기의 보고에는 대부분 자기공명영상신호를 관찰할 수 없거나 일부에서 담석의 중앙에 약한 영상신호를 보였다고 하였는데, 이는 담석내부에 존재하는 작은 공동 또는 담석을 조작하는 중에 발생한 균열로 수분이 스며들었기 때문이라고 하였다.<sup>29,30</sup> 그러나 이를 보고들은 대부분 0.5 T 이하의 약한 자기장을 갖는 자기공명영상기기를 사용하였기 때문에 최근에 개발된 1.5 T의 강한 자기장을 갖는 기기를 이용한 결과와는 차이가 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 1.5 T의 기기를 사용하여 다양한 형태의 영상신호를 관찰할 수 있었으며, 일부에서는 여러 신호강도가 교차하는 복잡한 층상의 형태를 보이기도 하였다(Fig. 3). 저자 등은 T1 및 T2 강조영상 모두 시행하였는데, T2 강조영상에서는 39예 중 22예에서만 영상신호를 보인 반면 T1 강조영상에서는 34예에서 영상신호를 보여 다른 보고에서와 마찬가지로 T1 강조영상에서 보다 많은 수에서 영상신호가 관찰되었으며,<sup>31</sup> T1 강조영상에 의해 유형을 분석하였다. Spin-echo 방식의 자기공명영상의 신호강도는 T1과 T2 이완시간에 의해 결정되는데, T1 강조영상은 T1 이완시간이 짧을수록 신호강도가 강해진다. 반면에 T2 이완시간은 T1 이완시간보다 같거나 짧기 때문에 T1 이완시간이 짧아질수록 T2 이완시간도 짧아진다. 담석에서는 특징적으로 T1 및 T2 이완시간이 짧아지므로, T1 강조영상은 강하게 나타나는 반면 T2 강조영상은 짧은 T2 이완시간으로 인해 spin echo가 형성되기 전에 신호가 봉괴되어 약해지게 된다.<sup>31</sup>

담석의 구성성분을 예측하는데에 자기공명영상이 효과적이지 못하다는 보고가 많은데,<sup>21,29,31</sup> 이는 영상신호가 없는 경우가 많고, 담석의 자기공명영상소견이 수소기가 많은 콜레스테롤 성분보다는 담석내에 존재하는 수분에 의해 주로 결정되기 때문이라고 하였다. 본 연구에서도 완전히 탈수, 건조하여 보관하

였던 담석을 자기공명영상촬영전에 재수화시킨 후 검사를 시행하였는데, 이 과정에서 담석에 균열이 발생하여 영상소견에 영향을 미쳤을 가능성도 배제할 수는 있으나, 자기공명영상이 전산화단층촬영보다 나은 성적을 보였고 일부에서는 육안적인 층상구조가 자기공명영상에서 그대로 관찰되었다. 자기공명영상의 제한점으로는 *in vitro*와 *in vivo*의 소견이 다를 수 있다는 점을 들 수 있는데, 일반적으로 담즙이 농축되면 T1 강조영상에서 강한 신호강도를 보이게 되나 담낭염등으로 인해 담낭의 농축능이 상실되면 신호강도가 약해지므로,<sup>45,46</sup> 담석의 신호강도를 담즙의 신호강도를 기준으로 평가할 수 없으며, 2차적으로 담석의 영상에도 변화를 줄 수 있을 것으로 생각된다. 아직까지 담석의 종류에 따라 자기공명영상 소견에 차이를 보이는 이유가 콜레스테롤 함량의 차이인지 또는 그외의 다른 화학적성분에 의해 영향을 받는지에 대해서 확실히 알려지지 않았기 때문에 향후 이에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 콜레스테롤석 예측의 정확도는 전산화단층촬영검사의 경우 민감도 58.8%, 특이도 81.8%, 양성예측도 71.4%, 및 음성예측도가 72.0%이었는데 반해 자기공명영상검사의 경우에는 민감도 64.7%, 특이도 95.5%, 양성예측도 91.7%, 및 음성예측도 77.8%로 전산화단층촬영에 비해 현저히 높은 특이도 및 양성예측도를 보였다(Table 8). 일반적으로 유병율이 높은 질환의 진단을 위해서는 민감도보다는 특이도가, 양성예측도 보다는 음성예측도가 높은 검사법이 보다 유용하다고 할 수 있으며, 특히 우리나라와 같이 혼합석 또는 색소성결석이 많은 경우에서는 음성예측도가 높을 수록 담석의 내과적치료법의 적용증이 되지 않는 비콜레스테롤석을 구별하는데 보다 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

결론적으로, 초음파검사는 검사방향에 따라 다양한 영상소견을 보이며 담석의 구성성분과 초음파소견간에 상관관계가 없어서 결석의 구성성분 예측에 도움이 되지 못하는 반면, 전산화단층촬영 또는 자기공명영상검사 모두 구성성분 예측에 효과적이나 자기공명영상검사가 전산화단층촬영에 비하여 보다 높은 특이도 및 예측도를 보여 이의 임상적 적용이

기대된다.

## 요 약

**목적:** 담석의 구성성분 예측에 있어서 초음파검사, 전산화단층촬영 및 자기공명영상검사의 정확도 및 유용성을 비교하기 위하여 본 연구를 시행하였다. **대상 및 방법:** 수술로써 얻은 39예의 담석을 대상으로 *in vitro*에서 영상검사를 시행하였으며 적외선흡수분광법 및 원자흡수분광법을 이용하여 측정한 담석의 콜레스테롤 및 칼슘 함량과를 비교 분석하였다. **결과:** 콜레스테롤의 함량에 따른 담석의 분류상 콜레스테롤석은 17예, 혼합석 8예, 색소성결석 14예이었다. 초음파소견상 한가지 유형으로만 관찰된 경우는 19예에 불과하였고, 두가지 17예 및 세가지 이상의 유형으로 관찰된 경우가 3예로 검사방향에 따라 다양한 초음파상을 보였으며, 초음파소견과 담석의 종류와 상관관계는 없었다. 전산화단층촬영 소견상 총 39예의 담석중 dense형 17예, faint형 4예, hypodense형 4예, rimmed형 10예 및 laminated형이 4예에서 관찰되었는데, 이중 hypodense형 및 rimmed형은 콜레스테롤석이, dense형은 색소성결석이 많았다. 콜레스테롤 함량은 hypodense형이  $79.2 \pm 5.5\%$ 로 가장 높았고 dense형이  $30.2 \pm 35.5\%$ 로 가장 낮았다( $p < 0.05$ ). 콜레스테롤 또는 칼슘 함량과 HU와의 상관관계를 조사하였을 때 콜레스테롤 함량과는 음의 상관관계를 보였으나( $p < 0.05$ ,  $r = 0.373$ ), 칼슘 함량과는 상관관계가 없었다( $r = 0.124$ ). 자기공명영상검사상 T1 강조영상에서는 39예중 34예에서, T2 강조영상에서는 39예중 22예에서 영상신호를 보였다. 담석을 T1 강조영상소견에 따라 분류하였을 때, dark형 5예, faint형 1예, bright형 2예, rimmed형 7예, laminated형 13예 및 central sunburst형 11예이었으며, faint형 및 central sunburst형은 콜레스테롤석이, rimmed형, bright형 및 laminated형은 색소성결석이 많았다. 콜레스테롤 함량은 central sunburst형에서  $77.8 \pm 18.5\%$ 로 가장 높았고, 자기공명영상의 신호강도와 칼슘 및 콜레스테롤 함량사이에 상관관계는 없었다. 전산화단층촬영의 콜레스테롤석 예측의 민감도, 특이도, 양성예측도 및 음성예측도는 각

각 58.8%, 81.8%, 71.4%, 및 72.0%이었고, 자기공명영상에서는 각각 64.7%, 95.5%, 91.7%, 및 77.8%이었으며, 두가지검사를 병합하면 각각 47.1%, 95.5%, 89.9%, 및 70.0%이었다. **결론:** 초음파검사는 검사방향에 따른 영상소견이 다양하여 담석의 구성성분 예측에 도움이 되지 못하는 반면, 전산화단층촬영 또는 자기공명영상검사 모두 구성성분 예측에 효과적이며 자기공명영상검사가 전산화단층촬영보다 높은 특이도 및 예측도를 보여 이의 임상적 이용이 기대되나 향후 보다 많은 예에서의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

**색인단어:** 담석, 성분예측, 초음파검사, 전산화단층촬영, 자기공명영상

## 참 고 문 헌

1. Diehl AK. Epidemiology and natural history of gallstone disease. *Gastroenterol Clin North Am* 1991;20:1 - 19.
2. Johnston DJ, Kaplan MM. Pathogenesis and treatment of gallstones. *N Engl J Med* 1993;328:412 - 421.
3. Danzinger RG, Hofmann AF, Schoenfield LJ, Thistle JL. Dissolution of cholesterol gallstones by chenodeoxycholic acid. *N Engl J Med* 1972;286:1 - 8.
4. Thistle JL, May GR, Bender CE, et al. Dissolution of cholesterol gallbladder stones by methyl tert-butyl ether administered by percutaneous transhepatic catheter. *N Engl J Med* 1989;320:663 - 669.
5. Schoenfield LJ, Berci G, Carnovale RL, et al. The effect of ursodiol on the efficacy and safety of extracorporeal shock-wave lithotripsy of gallstones. *N Engl J Med* 1990;323:1239 - 1245.
6. Sackmann M, Pauletzki J, Sauerbruch T, Holl J, Schelling G, Paumgrtner G. The Munich gallbladder lithotripsy study: results of the 5 years with 711 patients. *Ann Int Med* 1991;114:290 - 296.
7. Salen G, Tint GS, Shefer S. Treatment of cholesterol gallstones with litholytic bile acids. *Gastroenterol*

- Clin North Am 1991;20:171 - 183.
8. Boscaini M, Piccinni-Leopardi M, Andreotti F, Montori A. Gall stone pulverization strategy in patients treated with extracorporeal lithotripsy and follow up results of maintenance treatment with ursodeoxycholic acid. Gut 1994;35:117 - 121.
  9. Nelson PE, Moyer TP, Thistle JL. Gallstone dissolution in vitro using methyl tert-butyl ether : radiologic selection criteria. Gastroenterology 1990;98:1280 - 1283.
  10. Ell C, Schneider HT, Benninger J, et al. Significance of computed tomography for shock-wave therapy of radiolucent gallbladder stones. Gastroenterology 1991;101:1409 - 1416.
  11. Trotman BW, Petrella EJ, Soloway RD, et al. Evaluation of radiographic lucency or opaqueness of gallstones as a means of identifying cholesterol or pigment stones: correlation of lucency or opaqueness with calcium and mineral. Gastroenterology 1975; 68:1563 - 1566.
  12. Dolgin SM, Schwartz JS, Kressel HY, et al. Identification of patients with cholesterol or pigment gallstones by discriminant analysis of radiographic features. N Engl J Med 1981;304:808 - 811.
  13. Simeone JF, Mueller PR, Ferrucci JT. Nonsurgical therapy of gallstones: implications for imaging. AJR 1989;152:11 - 17.
  14. Maglinte DDT, Torres WE, Laufer I. Oral cholecystography in contemporary gallstone imaging: a review. Radiology 1991;178:49 - 58.
  15. Caroll BA. Gallstones : in vitro comparison of physical, radiographic and ultrasonic characteristics. AJR 1978;131:223 - 226.
  16. Filly RA, Moss AA, Way LW. In vitro investigation of gallstone shadowing with ultrasound tomography. JCU 1979;7:255 - 262.
  17. 김진홍, 김훈식, 이준성, 등. 담석의 초음파상과 성분 분석에 관한 비교 연구. 대한소화기병학회지 1992;24: 1119 - 1129.
  18. 이종범, 정세열, 김건상, 이용철, 한만청, 김진규. 초음파촬영 및 전산화단층촬영에 의한 담석의 성분예측에 관한 실험적 연구. 대한방사선의학회지 1992;28:241 - 249.
  19. Hickman MS, Schwesinger WH, Bova JD, Kurtz WE. Computed tomographic analysis of gallstones in an in vitro study. Arch Surg 1986;121:289 - 292.
  20. Baron RL, Rohrmann CA, Lee SP, Shuman WP, Teeffey SA. CT evaluation of gallstones in vitro : correlation with chemical analysis. AJR 1988;151: 1123 - 1128.
  21. Baron RL, Kuyper SJ, Lee SP, Rohrmann CA, Shuman WP, Nelson JA. In vitro dissolution of gallstones with MTBE: Correlation with characteristics at CT and MRI imaging. Radiology 1989;173: 117 - 121.
  22. Brakel K, Lameris JS, Nijs GT, Terpstra OT, Steen G, Blijenberg BC. Predicting gallstone composition with CT: in vivo and in vitro analysis. Radiology 1990;174:337 - 341.
  23. Yoneda M, Tamasawa N, Makino I, Takebe K, Sakuraba K, Tamura T. Measurement of calcium content of gallstones by computed tomography and the relationship between gallbladder function and calcification of gallstones. Gastroenterol Jpn 1990; 25:478 - 484.
  24. Brink JA, Ferrucci JT. Use of CT for predicting gallstone composition: a dissecting view. Radiology 1991;178:633 - 634.
  25. Soloway RD, Trotman BW, Ostrow JD. Pigment gallstones. Gastroenterology 1977;72:167 - 182.
  26. Trotman BW. Pigment gallstone disease. Gastroenterol Clin North Am 1991;20:111 - 127.
  27. 문영명. 한국인 담석증의 현황. 대한소화기병학회지 1987;19:1 - 5.
  28. 김명환, 김순길, 김선주 등. 적외선 분광계를 이용한 농촌 주민의 담석 분석. 대한의학협회지 1989;32:189 - 198.
  29. Moon KL, Hricak H, Margulis AR, et al. Nuclear magnetic resonance imaging characteristics of gallstones in vitro. Radiology 1983;148:753 - 756.
  30. Moriyasu F, Ban N, Nishida O, et al. Central signals of gallstones in magnetic resonance imaging. Am J Gastroenterol 1987;82:139 - 142.
  31. Baron RL, Shuman WP, Rohrmann CA, et al. MR

- appearance of gallstones in vitro at 1.5 T: correlation with chemical composition. *AJR* 1989;153:497 - 502.
32. Paumgartner G. Nonoperative management of gallstone disease. In: Sleisenger MH, Fordtran JS. *Gastrointestinal disease*. 5th ed. Philadelphia : WB Saunders Co, 1993:1884 - 1887.
33. Nakayama F, Johnston CG. Fraction of bile lipids with silicic acid column chromatography. *J Lab Clin Med* 1962;59:364 - 370.
34. Nakayama F. Quantitative microanalysis of gallstones. *J Lab Clin Med* 1968;72:602 - 650.
35. 서경석, 박용현, 권석운. 자동화학분석기를 이용한 위 치별 담석의 정량적 성분 분석. *대한소화기병학회지* 1990;22:641 - 650.
36. Ravnborg L, Teilum D, Pedersen LR. Gallbladder stones classified by chemical analysis of cholesterol content. *Scand J Gastroenterol* 1990;25:720 - 724.
37. Edwards JD, Adams WD, Halpert B. Infrared spectrums of human gallstones. *Am J Clin Path* 1958; 29:236 - 238.
38. Trotman BW, Morris TA, Sanchez HM, Soloway RD, Ostrow JD. Pigment versus cholesterol cholelithiasis: Identification and quantification by infrared spectrometry. *Gastroenterology* 1977;72:495 - 498.
39. 김명환, 민영일. 담낭 담석의 CT소견 : 화학적 성분과 충격파쇄석술 성적과의 연관성에 대한 연구. *대한소화기병학회지* 1990;22:386 - 393.
40. Rajagopal S, Bills P, Keightley A, Murphy GM, Dowling RH. Predictive value of computed tomography(CT) scanning of the gall bladder in determining gall stone type. *Gut* 1988;29:A1487.
41. Cahalane MJ, Neubrand MW, Carey MC. Physical-chemical pathogenesis of pigment gallstones. *Semin Liver Dis* 1988;8:317 - 328.
42. Lotveit T. The composition of biliary calculi in patients with juxtapapillary duodenal diverticula. *Scand J Gastroenterol* 1982;17:653 - 656.
43. Malet PF, Takabayashi A, Trotman BW, Soloway RD, Weston NE. Black and brown pigment gallstones differ in microstructure and microcomposition. *Hepatology* 1984;4:227 - 234.
44. Akiyoshi T, Nakayama F. Bile acid composition in brown pigment stones. *Dig Dis Sci* 1990;35:27 - 32.
45. McCarthy S, Hricak H, Cohen M, et al. Cholecystitis: Detection with MR imaging. *Radiology* 1986; 158:333 - 336.
46. Hricak H, Filly RA, Margulis AR, Moon KL, Crooks LE, Kaufman L. Work in progress: nuclear magnetic resonance imaging of the gallbladder. *Radiology* 1983;147:481 - 484.