

## 석회화 병변에서의 Excimer Laser 관동맥 성형술의 효과\*

— 혈관내 초음파를 이용한 연구 —

연세대학교 원주의과대학 내과학교실

박금수 · 여경구 · 조윤경 · 윤정한 · 최경훈

*Washington Cardiology Center, Washington D.C. USA*

Gary S Mintz, M.D., Kenneth M Kent, M.D.,  
Augusto D Pichard, M.D., Martin B Leon, M.D.

= Abstract =

### The Effects of Excimer Laser Coronary Angioplasty in Calcified Lesions : Investigation with Intravascular Ultrasound

Keum-Soo Park, M.D., Kyong-Gu Yoh, M.D., Yoon-Kyung Cho, M.D.,  
Jung-Han Yoon, M.D., Kyung-Hoon Choe, M.D.

*Department of Internal Medicine, Wonju College of Medicine, Yonsei University, Wonju, Korea*

Gary S Mintz, M.D., Kenneth M Kent, M.D.,  
Augusto D Pichard, M.D., Martin B Leon, M.D.  
*Washington Cardiology Center, Washington D.C. USA*

**Background :** Coronary artery target lesion calcification may be an important determinant of the arterial response to catheter therapy for coronary arterial disease. The excimer laser coronary angioplasty (ELCA) has been reported to be a promising treatment for complex coronary artery disease. However, the effects of ELCA is not well known against the calcified target lesion.

**Methods :** To assess the arterial and plaque remodeling in calcified lesions after excimer laser coronary angioplasty, we used a comprehensive intravascular ultrasound (IVUS) imaging system (25MHz rotating transducer, 3.9 Fr monorail imaging sheath, motorized transducer pull-back at 0.5mm/sec and quantification) to study 23 patients (1 left main, 10 LAD, 4 LCX, 6 RCA, 2 SVG) before and immediately after ELCA (the AIS 308nm XeCl excimer laser, pulse width >200nsec, pulse frequency 20Hz, energy density 35-65mJ/mm<sup>2</sup>). Paired before and after ELCA image slices were analysed ; and external elastic membrane, lumen, plaque + media (P + M) and calcium cross-sectional area (CSA) measured ; and their differences after ELCA calculated.

\*본 논문의 요지는 5th Asian-Pacific Conference on Doppler and Echocardiography에서 발표되었음.

**Results :** The IVUS results about the therapeutic effects of ELCA showed the enlargement of lumen CSA from  $1.5 \pm 0.4$  to  $3.2 \pm 0.9 \text{ mm}^2$  ( $p < 0.001$ ) and decreased of P+M CSA from  $14.6 \pm 3.8$  to  $13.4 \pm 3.6 \text{ mm}^2$  ( $p < 0.001$ ) without arterial expansion. The decrease of calcium CSA from  $1.8 \pm 0.7$  to  $1.5 \pm 0.6 \text{ mm}^2$  ( $p < 0.001$ ) and the formation of small, superficial fissures within the calcified plaque (15/23 lesions) were noted. The number of small fissures correlate with the calcium CSA significantly ( $r = 0.61$ ,  $p < 0.001$ ).

**Conclusions :** The plaque and calcium ablation is the main effects of ELCA in calcified lesion, and the calcium ablation and fissure formation after ELCA may contribute to decrease the dissection and improve the success after adjunctive PTCA.

**KEY WORDS :** Intravascular ultrasound · Excimer laser coronary angioplasty · Coronary artery calcification.

## 서 론

지난 10여년간 경피적 관동맥 풍선성형술(이후 PTCA로 약함)을 위한 장비와 술기에 많은 발전이 있어 왔으나, 풍선성형술만으로 치료하기에는 부적합한 병변이 확인되었고, 이에 따라 새로운 관혈적 치료를 시행할 수 있는 여러가지 기기가 개발되어 관동맥의 치료가 이루어지고 있는데 이중의 하나가 excimer laser coronary angioplasty(ELCA)이다<sup>1-3)</sup>.

최근 보고에 의하면 American College of Cardiology/ American Heart Association(ACC/AHA) Task Force<sup>4)</sup>의 정정상 복합병변을 가진 환자에서 ELCA를 이용하여 효과적으로 죽상경화 프라그를 제거할 수 있으며<sup>5)</sup>, ELCA를 이용한 경우 PTCA와는 대조적으로 단순병변에서의 치료성공율과 복합병변에서의 치료성공율이 비슷하였다고 한다<sup>3)</sup>.

이러한 복합병변중 특히 석회침착병변은 PTCA 시행시 풍선압력에 의하여 혈관벽리가 잘 일어나는데 이는 칼슘침착부위가 썩기역활을 하여 죽상경화 프라그에 shearing stress를 증가시키기 때문이다<sup>6)</sup>.

이와같은 기전에 의하여 칼슘침착병변의 PTCA시 치료성공율이 낮았고, 관혈적 치료에 어려움이 많았으나 최근 사용되고 있는 rotational atherectomy<sup>7)</sup>와 ELCA<sup>8)</sup>로 합병증 없이 칼슘을 제거시킬 수 있다고 한다. 특히 excimer laser는 다른 혈관치료용 laser와는 달리 말초동맥병변의 다량의 칼슘을 제거시켰다는 보고도 있다<sup>9)</sup>. 그러나 아직 이러한 ex-

cimer laser 효과가 임상적으로 칼슘이 침착된 관동맥 치료에 어떠한 영향을 미치는지에 관하여는 아직 규명되고 있지 않다.

이에 저자들은 혈관내 초음파를 이용하여 다량의 칼슘침착이 있는 관동맥 병변에서 ELCA가 병변내 프라그와 칼슘에 미치는 영향을 알아보고자 다음과 같은 연구를 시행하였다.

## 연구 방법

ELCA 시행 전후에 혈관내 초음파를 시행한 환자중 병변부위의 칼슘침착이  $90^\circ$  이상 있었고 시술중 임상적으로 의의있는 합병증이 발생하지 않았던 23예의 환자(남자 14예, 여자 9예)를 대상으로 하였으며 대상환자의 평균나이는  $61 \pm 7$ 세였다. 치료한 병변의 분포는 좌주간동맥 1예, 좌전하행동맥 10예, 좌회선동맥 4예, 우관동맥 6예, 복재정맥이식혈관(saphenous vein graft) 2예였다.

LAIS사의 308nm XeCl excimer laser system을 이용하여 평균 pulse width는 200nsec 이상, pulse frequency는 20Hz로 하여, 3초 간격으로 4~5회에 걸쳐  $35 \sim 65 \text{ mJ/mm}^2$  정도의 energy density를 가진 excimer laser를 레이저용 카테터를 이용해 병변에 주사하였다. 시술중 필요시 관동맥내 nitroglycerin을 주사하였으며, 정맥내 nitroglycerin과 수액을 수축기 혈압이  $100 \sim 140 \text{ mmHg}$  유지되도록 지속적으로 정주하였다.

혈관내 초음파기기는 Inter Therapy사(Santa Ana, CA., USA)의 제품을 이용하였다. 이 기기는 flexible

shaft의 끝에 비스듬히 반사거울을 장치한 25MHz의 single element transducer가 구동장치에 의하여 3.9 Fr의 short monorail polyethylene imaging sheath내에서 1800rpm 속도로 회전하면서 혈관의 단면사진을 제공해 준다. 모든 혈관내 초음파 영상은 transducer를 병변의 말단부에서 관동맥 기시부까지 motorized pullback device를 이용하여 초당 0.5 mm의 속도로 끌어내면서 얻었다. 이 기기를 이용하면 전 병변부위를 17 마이크론 간격의 연속적인 혈관 단면 영상으로 얻게 되며, 모든 영상은 super VHS 비디오 테잎에 기록한후 off-line 분석에 사용하였다. 기록된 비디오 영상에서 병변의 형태를 관찰한 후, 내장된 computer planimetry를 이용하여 병변의 external elastic membrane 단면적(EEM-CSA), lumen 단면적(Lumen-CSA), 칼슘침착 단면적(CA-CSA)을 구하였으며, 각도기를 이용하여 칼슘침착각도를 측정하였다. 프라그와 media의 합친 면적(P+M CSA)은 EEM-CSA에서 Lumen-CSA를 뺀 값으로 하였다. 혈관내 초음파 검사상 프라그 혹은 media내에 EEM보다 더 밝은 echo-density를 보이면서 acoustic shadowing을 가지고 있을 때 칼

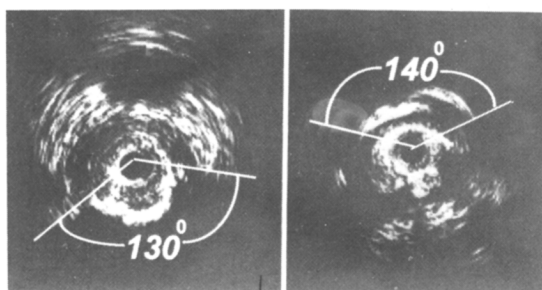


Fig. 1. The intravascular ultrasound images noted the calcified lesion. Calcium is brighter than the reference adventitia with acoustic shadowing.

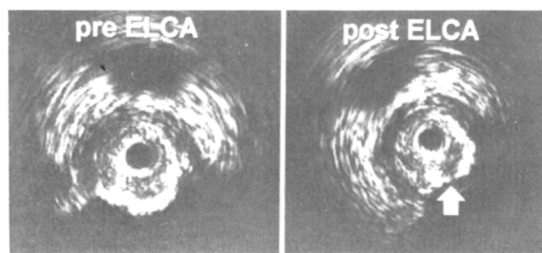


Fig. 2. The intravascular ultrasound images noted the formation of small, superficial fissures within the calcified plaque after ELCA.

슘침착이 있다고 하였으며(Fig. 1), 프라그로 부터 칼슘침착부위까지 부분적으로 방사방향으로 연결된 깨어진 선들이 보일때 칼슘 fissure가 발생하였다고 정의하였다(Fig. 2).

SPSS/PC<sup>+</sup>를 사용하여 자료들은 평균값±표준편차로 표시하였으며, 시술전후의 비교는 paired Student's t-test와 Pearson correlation을 이용하여 분석하였다.

## 결 과

### 1. ELCA시행 전후의 병변의 변화(Table 1, Fig. 3)

ELCA 시행 전후의 EEM-CSA는  $16.1 \pm 3.9 \text{ mm}^2$ 에서  $16.6 \pm 3.9 \text{ mm}^2$ 로 의미있는 차이를 보이지 않았으나( $p = \text{NS}$ ), Lumen-CSA는  $1.5 \pm 0.4 \text{ mm}^2$ 에서  $3.2 \pm 0.9 \text{ mm}^2$ 로 유의있게 증가하였고( $p < 0.001$ ), P+M CSA는  $14.6 \pm 3.8 \text{ mm}^2$ 에서  $13.4 \pm 3.6 \text{ mm}^2$ 로 유의하게 감소하였다( $p < 0.001$ ).

### 2. ELCA 시행 전후의 칼슘침착부위의 변화 (Table 1, Fig. 4)

칼슘침착각도는  $182 \pm 97^\circ$ 에서  $159 \pm 91^\circ$ 로 감소하였고( $p = 0.023$ ), CA-CSA는  $1.8 \pm 0.7 \text{ mm}^2$ 에서  $1.5 \pm$

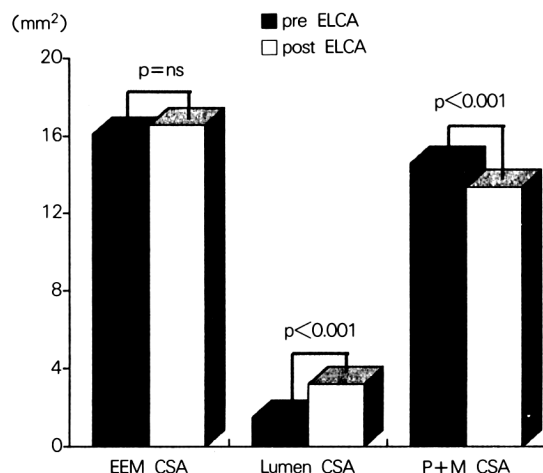


Fig. 3. The changes of external elastic membrane, lumen and plaque+media cross-sectional area before and after ELCA ; ELCA : excimer laser coronary angioplasty, EEM : external elastic membrane, P+M : plaque+media, CSA : cross-sectional area.

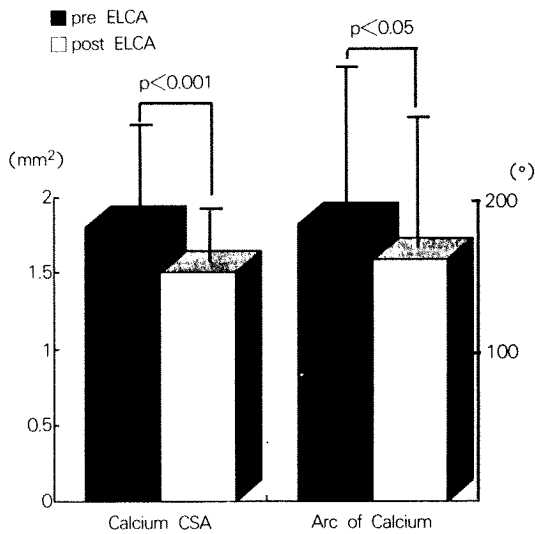
**Table 1.** Changes of external elastic membrane, lumen CSA, plaque+media and calcium before and after ELCA

	pre ELCA	post ELCA	$\Delta^*$	P
EEM CSA(mm <sup>2</sup> )	16.1 $\pm$ 3.9	16.6 $\pm$ 3.9	3 $\pm$ 3 %	NS
Lumen CSA(mm <sup>2</sup> )	1.5 $\pm$ 0.4	3.2 $\pm$ 0.9	119 $\pm$ 68 %	< 0.001
P+M CSA(mm <sup>2</sup> )	14.6 $\pm$ 3.8	13.4 $\pm$ 3.6	-8 $\pm$ 8 %	< 0.001
Calcium CSA(mm <sup>2</sup> )	1.8 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.6	-15 $\pm$ 1 %	< 0.001
Arc of calcium(°)	182 $\pm$ 97	159 $\pm$ 91	-11 $\pm$ 2 %	0.023

\*  $\Delta$  : the percent differences between before and after ELCA

\*\*EEM CSA : external elastic membrane cross-sectional area

ELCA : excimer laser coronary angioplasty



**Fig. 4.** The changes of calcium cross-sectional area and arc of calcium before and after ELCA ; ELCA : excimer laser coronary angioplasty. CSA : cross-sectional area.

0.6mm<sup>2</sup>으로 유의있게 감소하였다(p<0.001).

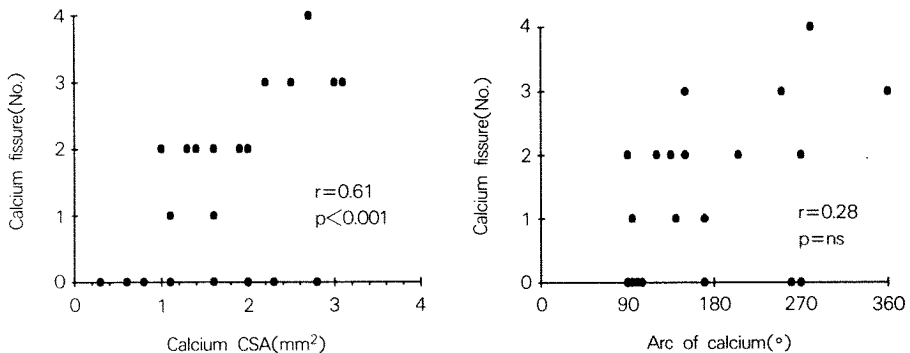
### 3. ELCA 시행후 발생한 칼슘 fissure와 칼슘침착 정도와의 관계(Fig. 5)

ELCA 시행후 fissure의 발생은 23예 중 15예에서 발생하였는데, 1개의 fissure가 발생한 경우는 4예, 2개는 6예, 3개는 4예, 4개는 1예에서 관찰할 수 있었다. Fissure의 발생 갯수와 CA-CSA는 유의한 상관관계가 있었으나( $r=0.61$ ,  $p<0.001$ ), 칼슘침착 각도와는 상관관계가 없었다.

## 고 찰

최근 들어 20MHz 이상의 고주파를 채택한 혈관내 초음파기기가 개발된 후 부터 뚜렷한 혈관 내강, 동맥경화 플라그, 혈관벽 등의 형태를 사람에게서도 in vivo 상태로 판별할 수 있는 연속적인 단면 영상을 얻을 수 있게 되었다.

과거 정상 관동맥과 죽상경화 관동맥 단면적의



**Fig. 5.** The number of small fissures has the significant correlation with the calcium cross-sectional area(left panel), and no significant correlation with the arc of calcium(right panel).

정량적 분석에 대한 여러 실험적 연구가 시행되었는데, 초음파로 측정한 결과와 조직학적인 방법으로 측정한 결과간에 유의한 상관관계를 보여 그 유용성이 인정되었다<sup>10-12)</sup>. 또한 PTCA 전후의 초음파검사로 혈관 박리 여부를 판별한 결과 조직학적인 검사와 일치하였다고 한다<sup>13)</sup>.

관동맥의 3가지 혈관벽 형태와 혈관내에 침착된 칼슘, 섬유조직, 프라그를 초음파 영상으로 감별할 수 있게 되었고, echo-free 그림자를 동반하고 있으면서 EEM 보다 밝은 echo density를 가진 영상의 확인으로 칼슘침착을 감별할 수 있다<sup>10,11,14)</sup>. 그러나 다량의 칼슘침착이 있을때 echo-free 그림자 때문에 칼슘 뒷쪽의 초음파적 구조를 알 수 없어 정량적 분석시 장애가 된다. 본 연구에서도 90도 이상의 칼슘이 침착된 환자만을 대상으로 하였으므로 칼슘 뒷쪽의 구조를 아는데 어려움이 있었던 경우가 7예 있었는데, 이러한 경우 칼슘이 없는 부위의 구조로부터 유추하거나, 뒷편 구조가 가려지지 않은 가장 가까운 부위로 transducer를 이동하여 측정한 EEM 단면적으로 대체하였다.

이와같이 혈관내 초음파의 유용성이 인정되고 점차 그 사용빈도가 높아짐에 따라 이러한 기기를 이용하여 심도자검사에서 관동맥성형술 등의 관혈적 치료를 시행하기 직전과 직후에 혈관내 초음파검사를 시행하여 병변과 프라그의 형태, 구성 성분, 치료결과 등을 관찰한 후 시술자에게 병변에 대한 정보를 제공하여 시술에 커다란 도움을 주고 있다. 또한 관혈적 치료 전후와 추시관찰시에 시행한 혈관내 초음파 영상을 비디오 테이프에 녹화해 두었다가 각각의 영상을 비교하여 치료전후와 추시관찰시 혈관의 협착정도, 프라그 양의 변화, 혈관 크기의 변화 등을 알 수 있게 되었다. 그리하여 PTCA 뿐만 아니라 최근 새롭게 개발된 여러가지 방법의 관혈적 치료시 혈관내 초음파검사를 유용하게 사용하고 있다.

과거 관동맥조영술만에 의한 병변의 판별시 여러가지 제한점이 있는데 초기 혹은 경한 죽상경화병변인 경우, 정확한 협착정도와 혈관의 크기를 측정시, 병변의 편측성 감별시 어려움이 있으며, 프라그 구성성분을 알 수 없고, 프라그 궤양(plaque ulceration) 혹은 혈관 박리와 혈전의 존재를 확인하는데 어려움이 있었다<sup>15)</sup>. 그러나, 혈관내 초음

파의 등장으로 이러한 제한점을 보완할 수 있게 되어 관동맥의 진단에 도움을 주고 있으며, 이를 이용한 관동맥에 대한 여러 연구가 활발히 진행되고 있다.

또한 최근 개발된 low profile 영상 카테터가 실용화됨에 따라 시술전 혈관내 초음파 영상을 보다 용이하게 얻을 수 있게 되었다<sup>16)</sup>.

10여년전부터 경피적 관동맥 풍선성형술이 시작된 이래 많은 발전이 있어 왔으나, 병변의 길이가 긴 경우, 석회침착이 많은 병변, 분지되는 부위에 있는 병변, 관동맥 개구부 협착병변 등은 치료성적이 다른 병변에 비하여 낮아 풍선성형술만으로 치료하기에는 부적합한 병변으로 인식되고 있다<sup>17-21)</sup>. 이에 따라 새로운 관혈적 치료를 시행할 수 있는 새로운 기기의 개발이 요청되었다. 그 결과 1983년부터 excimer laser를 이용하여 사람의 혈관과 관동맥에 사용할 수 있는 시스템의 개발이 진행되어 왔다. Excimer laser는 다른 레이저와는 달리 높은 pulse energy, 짧은 pulse duration, 제한된 조직 침투력에 의해 혈관에 열손상을 입히지 않고 미세하게 프라그를 절개하는 방법으로 프라그를 제거시키는 작용기전을 가지고 있다. 특히 excimer laser는 혈관성형술에 이용되는 다른 laser와 달리 열손상이 없이 혈관에 침착된 칼슘을 제거하는 능력을 가지고 있어 향후 이러한 병변에서 더욱 유용하게 쓰일 전망이다<sup>9)</sup>.

본 연구에서도 ELCA 전후에 현저한 프라그의 감소와 더불어 칼슘침착 단면적과 칼슘침착각도가 모두 유의있게 감소된 점으로 미루어 ELCA에 의하여 칼슘이 제거된 것으로 생각되었다.

최근 복합병변에서 ELCA를 이용하여 효과적으로 프라그를 제거시켰다는 여러 보고가 있으며, 칼슘침착이 있는 병변과 없는 병변에서의 PTCA 성공율은 각각 82%, 90%로 현저한 차이가 있으나<sup>18)</sup>, ELCA로 치료한 경우 칼슘침착 여부가 치료 성공율에 영향을 미치는 요인으로 작용하지 못하였다고 한다<sup>5)</sup>. 이는 ELCA가 프라그 뿐만 아니라 칼슘도 함께 제거하여 성공적인 내경의 확장을 초래하기 때문으로 생각된다.

ELCA의 제한점중의 하나인 혈관 박리가 약 15%에서 발생하는데 이러한 혈관 박리가 발생하는 기전은 아직 확실하지는 않지만 레이저 카테터

가장자리의 “dead space”나 microbubble에 의해 기계적 손상을 받아 발생된다고 한다<sup>22,23</sup>). 이러한 결함은 현재 LAIS사에서 개발한 100 마이크로론 tapered fiber로 만든 카테터에 의해 많이 해소될 것으로 보인다. 본 연구에서도 이러한 새로운 카테터를 이용하였으며, 레이저 카테터의 이동을 기존의 제시된 속도(2~4mm/sec)보다 빨리 움직여 레이저 에너지를 분산시킴으로서 혈관벽리를 감소시킬 수 있다는 보고<sup>24</sup>)에 따라 치료를 시행한 결과 혈관 조영술상에 보이지 않는 작은 fissure들이 15예에서 프라그와 칼슘침착부위에 발생한 것을 관찰할 수 있었으나 임상적으로 심각한 합병증이나 혈관벽리는 없었다. 또한 모든 예에서 ajunctive PTCA를 시행한 결과 혈관벽리의 발생없이 성공적으로 관동맥내경을 확장시킬 수 있었다.

Excimer laser의 이러한 칼슘을 깨뜨리는 작은 fissure들에 의하여 칼슘침착 병변에서 임상적으로 의의있는 혈관벽리 없이 성공적으로 ajunctive PTCA를 수행할 수 있지 않나 생각되며, 이러한 사실은 향후 더욱 많은 연구로 규명되어야 할 과제이다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 대상환자의 예가 비교적 적었고, 둘째, 병변의 내경이 초음파 카테터보다 적어 초음파 영상을 얻기 위하여 사전확장(pre-dilation)이 필요했던 경우에는 병변의 실제 내경보다 초음파상의 내경이 커지므로, 이러한 경우 관동맥조영술상의 내경을 이용하였다. 셋째, echo-free 그림자 때문에 칼슘 뒷쪽의 정확한 구조를 알 수 없어 실제의 칼슘 면적을 구하는데 제한점이 있었으며, 한 병변에서의 칼슘 면적도 부위마다 달라지므로 가장 칼슘면적이 넓은 부위를 채택하여 분석하였다. 넷째, 칼슘침착이 많은 병변에서 EEM-CSA의 측정에 어려움이 있어, 이러한 경우 가장 가까운 부위의 것으로 대체하였다.

결론적으로 ELCA는 현재까지 관동맥성형술에 사용할 목적으로 개발된 레이저시스템 중 가장 널리 사용되고 있으며, 프라그 뿐만 아니라 칼슘제거 효과가 있어 칼슘침착이 많은 병변에서 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 연구배경 :

혈관내 초음파를 이용하여 다량의 칼슘침착이 있는 관동맥 병변에서 ELCA가 병변내 프라그와 칼슘에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

#### 방 법 :

칼슘침착각도가 90° 이상인 환자 23예를 대상으로 ELCA 시행 전후에 혈관내 초음파 검사를 시행하여 혈관내경의 변화와 프라그 및 칼슘의 제거효과를 관찰하여 비교 분석하였다.

#### 결 과 :

1) Lumen CSA는  $1.5 \pm 0.4 \text{mm}^2$ 에서  $3.2 \pm 0.9 \text{mm}^2$ 로 유의있게 증가하였고( $p < 0.001$ ), P+M CSA는  $14.6 \pm 3.8 \text{mm}^2$ 에서  $13.4 \pm 3.6 \text{mm}^2$ 로 유의하게 감소하였다( $p < 0.001$ ).

2) 칼슘침착각도는  $182 \pm 97^\circ$ 에서  $159 \pm 91^\circ$ 로 감소하였고( $p = 0.023$ ), CA-CSA는  $1.8 \pm 0.7 \text{mm}^2$ 에서  $1.5 \pm 0.6 \text{mm}^2$ 으로 유의있게 감소하였다( $p < 0.001$ ).

3) ELCA 시행후 fissure의 발생은 23예 중 15예에서 발생하였다. Fissure의 발생 갯수와 CA-CSA는 유의한 상관관계가 있었다( $r = 0.61$ ,  $p < 0.001$ ).

#### 결 론 :

칼슘침착병변에서 ELCA는 혈관의 확장 없이 프라그와 칼슘을 제거하는 효과가 있으며, ELCA에 의해 작은 fissure의 발생이 관찰되었다. 향후 칼슘침착이 많은 관동맥에서 이러한 ELCA 효과들과 치료성적과의 관계는 추후 연구되어야 할 과제라고 생각된다.

#### References

- 1) Gruenzig AR, Senning A, Siegenthaler WE : *Non-operative dilatation of coronary artery stenosis : Percutaneous transluminal coronary angioplasty*. *N Engl J Med* 301 : 61, 1979
- 2) Detre K, Holubkov R, Kelsey S, Co-investigators of the NHLBI PTCA Registry : *Percutaneous transluminal coronary angioplasty in 1985-1986 and*

- 1977–1981. *N Engl J Med* 318 : 265, 1988
- 3) Cook SL, Eigler NL, Shefer A, Goldenberg T, Forrester JS, Litvack F : *Percutaneous excimer laser coronary angioplasty of lesions not ideal for balloon angioplasty*. *Circulation* 84 : 632, 1991
  - 4) Ryan TJ, Faxon DP, Gunnar RM, Kennedy JW, King SB III, Loop FD, Peterson KL, Reeves TJ, Williams DO, Winters WLJ, Fisch C, DeSanctis RW, Dodge HT, Weinberg SL : *Guidelines for percutaneous transluminal coronary angioplasty : A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Assessment of Diagnostic and Therapeutic Cardiovascular Procedures*. *Circulation* 78 : 486, 1988
  - 5) Bittl JA and Sanborn TA : *Excimer laser-facilitated coronary angioplasty : relative risk analysis of acute and follow-up results in 200 patients*. *Circulation* 86 : 71, 1992
  - 6) Fitzgerald PJ, Ports TA, Yock PG : *Contribution of localized calcium deposits to dissection after angioplasty. An observational study using intravascular ultrasound*. *Circulation* 86 : 64, 1992
  - 7) Kovach JA, Mintz GS, Pichard AD, Kent KM, Popma JJ, Satler LF, Leon MB : *Sequential intravascular ultrasound characterization of the mechanism of rotational atherectomy and adjunctive balloon angioplasty*. *J Am Coll Cardiol* 22 : 1024, 1993
  - 8) Isner JM : *Pathology in cardiovascular laser therapy*. In : *Cardiovascular laser therapy*. Isner MJ, Clarke RH, 1st Ed. p63, New York, Raven, 1989
  - 9) Grunfest WS, Litvack F, Goldenberg T, Sherman T, Morgenstern L, Carroll R, Fishbein M, Forrester JS, Margitan J, McDermid S : *Pulsed ultraviolet lasers and potential for safe laser angioplasty*. *Am J Surg* 150 : 220, 1985
  - 10) Portkin BN, Bartorelli AL, Gessert JM, Neville RF, Almagor Y, Roberts WC, Leon MB : *Coronary artery imaging with intravascular high-frequency ultrasound*. *Circulation* 81 : 1575, 1990
  - 11) Nishimura RA, Edwards WD, Warnes CA, Reeder GS, Holmes DR, Tajik AJ, Yock PG : *Intravascular ultrasound imaging : In vitro validation and pathologic correlation*. *J Am Coll Cardiol* 16 : 145, 1990
  - 12) Nissen SE, Grines CL, Guley JC, Sublett K, Haynie D, Diaz C, Booth DC, DeMaria AN : *Application of a new phased-array ultrasound imaging catheter in the assessment of vascular dimensions*. *Circulation* 81 : 660, 1990
  - 13) Tobis JM, Mallery JA, Gessert J, Griffith J, Mahan D, Bessen M, Moriuchi M, MacLeay L, McRae M, Henry WL : *Intravascular ultrasound cross-sectional arterial imaging before and after balloon angioplasty in vitro*. *Circulation* 80 : 873, 1989
  - 14) Gussenhoven EJ, Essed CE, Lancee CT, Mastik F, Fritman P, Van Egmond FC, Reiber J, Bosch H, Van Urk H, Roelandt J, Bon N : *Arterial wall characteristics determined by intravascular ultrasound imaging : An in vitro study*. *J Am Coll Cardiol* 14 : 947, 1989
  - 15) Coy KM, Maurer G, Siegel RJ : *Intravascular ultrasound imaging : A current perspective*. *J Am Coll Cardiol* 18 : 1811, 1991
  - 16) Mintz GS, Douek P, Pichard AD, Kent KM, Satler LF, Popma JJ, Leon MB : *Target lesion calcification in coronary artery disease : An intravascular ultrasound study*. *J Am Coll Cardiol* 20 : 1149, 1992
  - 17) Pepine CJ, Hirshfeld JW, McDonald RG, Henderson MA, Bass TA, Goldberg S, Savage MP, Vetrovec G, Cowley M, Taussig AS, Whitworth HB, Margolis JR, Hill JA, Bove AA, Jugo R, M-HEART Group : *A controlled trial of corticosteroids to prevent restenosis after coronary angioplasty*. *Circulation* 81 : 1753, 1990
  - 18) Savage MP, Goldberg S, Hirshfeld JW, Bass TA, McDonald RG, Margolis JR, Taussig AS, Vetrovec G, Whitworth HB, Zalewski A, Hill JA, Cowley M, Jugo R, Pepine CJ : *Clinical and angiographic determinant of primary coronary angioplasty success*. *J Am Coll Cardiol* 17 : 22, 1991
  - 19) Meier B, Gruenzig AR, King SB III, Douglas JSJ, Hollman J, Ischinger T, Aueron F, Galan K : *Risk of side branch occlusion during coronary angioplasty*. *Am J Cardiol* 53 : 10, 1984
  - 20) Topol EJ, Ellis SG, Fishman J, Leimgruber P, Myler RK, Stertz SH, O'Neill WW, Douglas JS, Roubin GS, King SB III : *Multicenter study of percutaneous transluminal angioplasty for right coronary artery ostial stenosis*. *J Am Coll Cardiol* 9 : 1214, 1987
  - 21) Mathias DW, Mooney JF, Lange HW, Goldenberg IF, Gobel FL, Mooney MR : *Frequency of success*

- and complications of coronary angioplasty of a stenosis at the ostium of a branch vessel. Am J Cardiol* 67 : 491, 1991
- 22) Litvack F and Eigler NL : *Coronary angioplasty : tribulations, trials, and directions. Coronary Artery Disease* 3 : 533, 1992
- 23) Van Leeuwen TG, Meertens JH, Velema E, Post MJ, Borst C : *Intraluminal vapor bubble induced by excimer laser pulse causes microsecond arterial dilation and invagination leading to extensive wall damage in the rabbit. Circulation* 87 : 4, 1258, 1993
- 24) Litvack F, Eigler NL, Forrester JS : *In search of the optimized excimer laser angioplasty system. Circulation* 87 : 4, 1421, 1993