

## 비용해성 LASER 및 열에너지의 가토 슬관절막에 대한 영향 비교

충남대학교 의과대학 정형외과학교실

변기용 · 이광진 · 이준호

— Abstract —

### A Comparative Study About the Effect of Nonablative Laser and Thermal energy on Rabbit Knee Joint Capsular Properties

Ki-Yong Byun, M.D., Kwang-Jin Rhee, M.D., Jun-Ho Lee, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, School of Medicine, Chungnam National University, Taejon, Korea*

**Purpose** : To evaluate the histologic effect(LM and EM findings)of nonablative LASER and thermal energy on knee joint capsule of rabbit.

**Material and Methods** : The nonablative LASER and thermal energy was applied to the rabbits(average age 36 weeks, weight 5 kg). There were divided into 4 groups with 6 rabbits in each. The group I received 6 watts of LASER, group II 12 watts of LASER, group III 60° of thermal energy, and group IV 70° of thermal energy. The histologic study included H-E, Massons trichrome stain and electron microscopy at immediate, 3 weeks and 6 weeks after operation.

**Results** : The histologic finding in immediate after operation was shown a fibrous degeneration of collagen on all groups and related to the energy level. The histologic finding after 3 weeks showed fibrosis and this fibrosis related the level of energy. Especially the group IV was shown flattening of capsule and deep fibrosis. The histologic finding after 6 weeks was shown marked recovery of collagen arrangement and capillary proliferation in group I, II and III. But in the group IV not recovered.

**Conclusion** : The nonablative LASER or thermal energy can cause degeneration, fibrosis and contracture of joint capsular collagen.

**Key Words** : Knee joint capsule, Laser, Thermal energy

---

※통신저자 : 변 기 용

대전광역시 중구 대사동 640번지

충남대학교 의과대학 정형외과학교실

Tel : 042) 220-7351, Fax : 042) 252-7098, E mail : kybyun@cuvic.cnu.ac.kr

## 서 론

관절막의 이완과 관절인대의 이완은 일측성 또는 다방향성 건관절 불안정성이 있는 환자에서 흔히 관찰되는 소견이다<sup>4, 8, 9, 12, 18, 27, 33, 40</sup>. 이러한 관절막과 관절 인대의 이완에 따른 건관절의 불안정성의 원인은 크게 3가지로 요약될 수 있는데 첫째는 최소의 외상 또는 외상의 병력이 없이 발생하는 경우<sup>12, 28</sup>, 둘째는 수영선수나 투수들과 같은 운동선수에서 반복적인 미세한 외상에 의해서 발생하는 경우<sup>2, 4</sup>, 셋째로 관절막의 심각한 파열을 동반하는 급성 외상에 의한 경우이다<sup>12, 27, 42</sup>. 이러한 질환군에 있어서 현재까지의 치료는 보존적 방법으로 물리치료에 의한 건관절 근력 강화법이 시행되어 동통의 감소에 대한 효과는 있지만, 젊은 환자나 활동이 많은 운동선수에서 관절막 이완에 대한 문제를 완전하게 해결하지는 못한 상황이다<sup>36</sup>). 또한 전통적인 수술 방법인 관절막 이전술도 수술적 슬기의 어려움과 다소 건관절 기능의 소실을 가져올 수 있는 단점이 있다<sup>5, 7, 16, 17, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 34-36, 43</sup>. 현재 새로운 슬기로 각광 받고 있는 관절경적 수술에서도 관절막의 이완에 대한 문제는 완벽하게 해결하고 있지는 못한 실정이다<sup>9, 10, 34</sup>. 따라서 쉽게 시술할 수 있고, 수술에 대한 합병증이 적은 방법으로 관절막의 이완을 최소화하여 관절 용적을 줄임으로써 관절의 안정성을 회복하는 방법이 대두되고 있으며<sup>25, 42, 45</sup>, 콜라겐 섬유에 대한 Laser의 영향에 관한 많은 실험적 연구들이 행해져 왔고, 이들은 비용해성의 laser 에너지가 콜라겐 섬유의 구조적 변화를 가져와 조직의 수축을 유도한다고 하였다<sup>4, 8, 45</sup>. 또한 직접적인 열에너지의 관절막에 대한 영향 역시 관절막의 수축에 효과가 있다고 보고되고 있다<sup>19</sup>.

본 실험 연구의 목적은 직접적인 열 에너지와 Laser 에너지를 가토의 슬관절막에 가하여 현재까지 보고된 실험연구들의 결과를 조직학적, 생화학적으로 확인하고자 하였다. 또한, 두 가지 에너지의 관절막에 대한 효과를 생체 연구를 통해 비교하여 생체의 실험에서 효과가 있었던 각 에너지의 특성이 생체 내에서 손상에 대한 반응으로 어떻게 변화하며, 그 마지막 효과는 무엇인지를 연

구 하고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 실험 재료

#### 실험 동물

총 36마리의 성숙된 암컷 New zealand white rabbit를 사용하였다. 체중은 평균 5 kg 이었으며, 생후 36주의 연령을 갖고 있었다. 암컷의 선택은 암수간에 올 수 있는 차이를 배제하기 위하여 어느 한쪽의 성에 국한시킨다는 개념에서였다.

### 2. 실험 방법

#### 실험군의 분류

각 실험군은 가해진 에너지의 역가에 따라 다음의 4가지 실험군으로 나누었다.

제 1 군, Laser 6 Watts 군.

제 2 군, Laser 12 Watts 군

제 3 군, Direct Thermal 에너지 60°C 군.

제 4 군, Direct Thermal 에너지 70°C 군.

### 3. 수술 방법

#### 1) 마취

실험동물의 마취는 25% pentothal sodium 정맥 마취를 시행하였으며, 주사직후 평균 20분의 수술 시간을 얻을 수 있었다.

#### 2) 수술 조작

수술전 가토의 대퇴부와 슬관절부, 복부의 면도를 시행하였으며, 이후 potadine으로 소독한후 슬관절의 전면에 중 절개를 시행한 다음 관절막에 도달할 때까지 박리를 시행하였다. 수술시 Laser 에너지 및 열 에너지를 관절막의 활액막면에 가하기 위하여 가토의 슬개건을 기준으로 내측과 외측에 기구가 들어갈 수 있는 입구를 만들었다. 이 입구의 한쪽에는 14 G 골수 생검 바늘을 이용하여 생리 식염수를 삽입한 후 관절내 공간 확보 및 Laser 에너지와 열 에너지의 매질로 작용하게 하였고, 다른 한쪽의 입구로 Laser handpiece set 또는 Oratec®(직접적 열에너지 기구, Stryker.) handpiece set를 삽입하여 슬관절막의 활액막 면에 에너지를 가하였다. 이 후 각각의 입구는 No.3 silk

를 이용하여 봉합하였으며, 수술후 추시에서 육안적으로 관절막의 수축을 확인하는 기준으로 삼았다. 이 후 가토의 피부 절개를 봉합한 후 수술 조작을 마쳤다(Fig. 1B, C).

### 3) Laser 에너지

Laser 에너지는 본원에 있는 holmium-yttrium aluminum garnet(Ho:YAG) 기구를 이용하여 10 pulses/sec로 6 watts, 0.6 J을 제 1군으로 하였고, 12 watts, 1.2 J을 제 2군으로 하여 관절막에 에너지를 가하였다. 비용해성 Laser의 역가를 상기와 같이 한 이유는 Hayashi 등<sup>25)</sup>에 의한 5 watt 및 10 watt, 15 watt를 참고하였으며, 본 원의 Laser는 흡수의 에너지 역가로 조절이 되지 않음으로 인해서 였다. 각각의 대퇴슬관절막에 에너지를 가할 때 laser handpiece set에서 표시되는 빛으로 위치를 확인할 수 있었

으며, 하나의 위치에서 Foot-plate를 1회 작동시 초당 10 pulse의 에너지(0.6J, 1.2J)가 전달 될 수 있도록 하였다(Fig. 1A, B).

### 4) 열 에너지

열 에너지는 직접적인 열을 발생시키는 기구로 현재 관절경 수술에 사용되고있는 Stryker사의 Oratec<sup>®</sup> 기구를 이용하여 60℃와 70℃의 열을 가하였다. 60℃와 70℃는 이미 Susan 등<sup>45)</sup>에 의해 검증된 에너지 역가이다. 열 에너지 역시 laser와 같은 방법인 handpiece set의 tip으로 위치를 확인한 후 한부위에 1회의 Foot-plate 작동으로 에너지를 가하였고 양측의 대퇴 슬관절막에 끌고루 위치를 다르게 하면서 에너지를 가하였다(Fig. 1C).

### 5) 수술 조작 후 처치

수술후 감염의 예방을 위하여 Gentamycin 1/10vial의 용량으로 1일 1회 근육내 주사하였다.

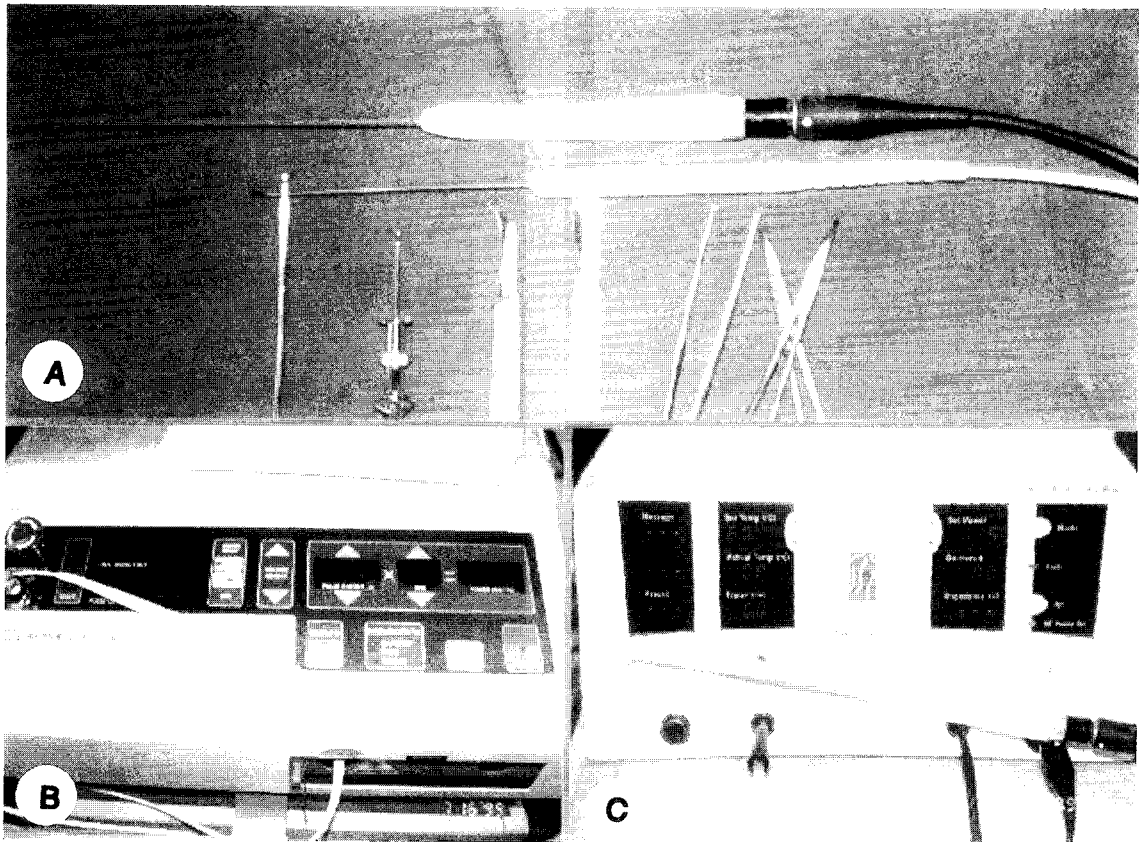


Fig. 1. A. Laser handpiece set. B. holmium-yttrium aluminum garnet(Ho:YAG). C. Oratec<sup>®</sup>(직접적 열에너지 기구, Stryker.) handpiece set

실험 동물은 실험 동물 사육용으로 제품화되어 시판되는 사료와 물로서 사육하였으며, 실험 동물 간의 싸움 및 수술 후 상처의 상호 공격을 예방하기 위하여 한 우리에 한 마리씩 격리시켜 사육하였다. 수술 후 특별히 운동을 제한하는 등의 조치는 하지 않았으며, 이는 고정으로 인한 관절의 구축이 올 가능성을 배제하기 위해서였다. 즉 관절의 수축 원인으로 다른 원인을 배제하고 유일하게 에너지에 대한 손상의 변화만을 측정하려는 의도였다.

#### 4. 관측

##### 1) 광학 현미경 검사

조직 검사는 각 군에 3마리씩 수술 조작 1일 후 및, 수술 후 3주, 6주째에 시행하였다. 수술 조작 1일 후에 조직 검사를 시행한 이유는 급성 염증 반응을 관측하기 위해서였다. 조직 검사 시에 먼저 동물을 희생시킨 후 이전의 피부 절개를 사용하였으며, 수술 후 3주 및 6주에는 육안 적인 관절막의 수축 소견을 확인한 후 수술시 사용하였던 입구 봉합 부위를 피하여 내측 및 외측의 대퇴 슬관절막을 1×2 cm 크기로 절개해 내었다. 절개한 표본은 pH 7.0 Buffered Formalin Solution에 120시간 고정 후 활액막면에 수직으로 paraffin 절편을 만들어 H & E 염색과 Masson's trichrome 염색을 시행하였다.

##### 2) 전자 현미경 검사

상기 광학 현미경의 표본의 일부를 채취하여 Gluteraldehyde 고정후 영하 20℃ 냉장 보관하여 전자 현미경 검사를 시행하였다. 전자 현미경 검사 시 각 군의 조직 표본을 methylene blue 초기 염색을 시행 한 후 섬유 모세포와 콜라겐 섬유의 정확한 단면이 보이는 부위를 선택하여 6000배에서 섬유 모세포의 변화를 관찰하였고, tannic acid 염색을 통하여 콜라겐 섬유의 단면을 관찰하였다.

## 결 과

### 1. 광학 현미경 검사 소견

각 실험군의 에너지를 가한 직후의 표본에서 모두 열 손상의 소견으로 콜라겐 섬유의 변성(각 섬유의 융합) 소견을 보였으며, Laser 6 Watt 군,

12 Watt 군, 60℃, 70℃의 순서로 열손상의 정도가 증가하였다. 3주후의 조직학적 소견은 모든 실험군에서 열손상에 대한 관절막의 섬유화의 소견이 관찰되었으며, 섬유화의 정도는 초기 열손상의 정도와 비례하였다. 특히 70℃의 직접적인 열 에너지를 가한 군에서는 활액막면의 상흔 발생으로 활액막의 편평화가 발생하였으며, 활액막면 이하로 섬유화가 진행되어 있었다. 최종 6주의 조직학적 소견에서 각 군의 열손상에 대한 콜라겐 섬유의 변성은 부분적으로 남아 있으나 정상과 거의 같은 섬유배열로 회복되었으며, 모세혈관의 증식이 특징적으로 모든 실험군에서 관찰되었다. 그러나 70℃ 열에너지 군의 경우에는 정상적인 콜라겐 섬유 배열이 회복되지 않았으며, 섬유화가 진행된 채로 남아 있었다.

#### 1) 술 후 1일째 조직 소견

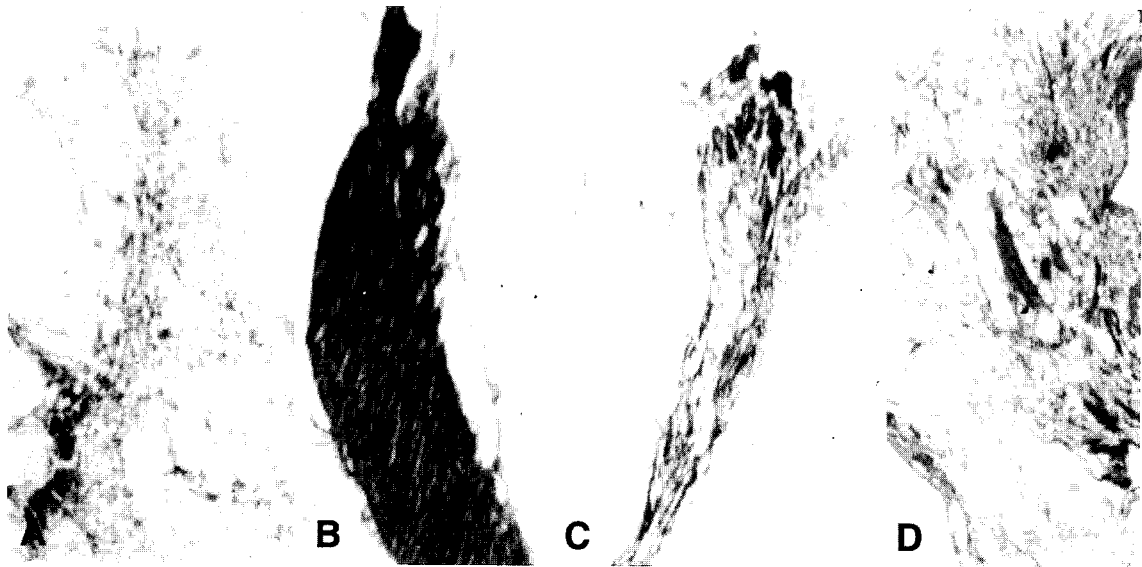
술 후 1일째 제 1 군, Laser 6 Watt 에너지에 의한 열 손상은 슬관절 활액막면에 국한된 범위를 보였으며, 활액막면 이하부위로 깊숙하게 침투되는 모습은 관찰되지 않았다(Fig. 2A, 3A). 또한 Laser 12 Watt 군인 제 2 군의 경우에도 1군보다는 좀 더 넓은 열손상의 소견을 보이고 있지만 역시 활액막면 이하로 깊숙한 에너지의 전달 소견은 보이고 있지 않았다(Fig. 2B, 3B). 그러나 제 3 군, 60℃ 직접적 열 에너지 군의 소견에서는 광범위한 활액막면 부위의 열 손상과 함께 좀 더 깊숙이 침투된 열 손상의 증거를 관찰 할 수 있었다(Fig. 2C, 3C). 제 4군, 70℃ 직접적 열 에너지 군에서는 제 3 군보다도 더욱 광범위한 열 손상과 함께 활액막면으로부터 더욱 깊숙이 진행된 열 손상을 관찰할 수 있었다(Fig. 2D, 3D).

#### 2) 술 후 3주째 조직 소견

술 후 3주째 각 군의 소견을 종합하면 활액막면 이하로의 염증 반응과 이로 인한 섬유화의 진행이 특징적으로 관찰되며, 콜라겐 섬유 배열의 분절화 및 방향성의 소실을 볼 수 있었다. 그러나 그 정도면에서 각 군간의 차이가 있었으며, 60℃ 및 70℃ 직접적 열 에너지 군에서 특징적으로 섬유화의 진행에 의한 활액막면의 편평화가 발생해 있었다(Fig. 4, 5)



**Fig. 2.** Post-operative 1 day(H-E stain  $\times 200$ ). **A.** Group I(6 Watt, Laser) Thermal damage in synovial surface, but; superficial injury. **B.** Group II(12 Watt, Laser) Thermal damage in synovial surface and subsynovial lesion. **C.** Group III(60 $^{\circ}$ C direct thermal) Wide and deep thermal injured lesion compared to Laser energy. **D.** Group IV(70 $^{\circ}$ C direct thermal) Very wide and deep thermal injured lesion compared to Laser energy.



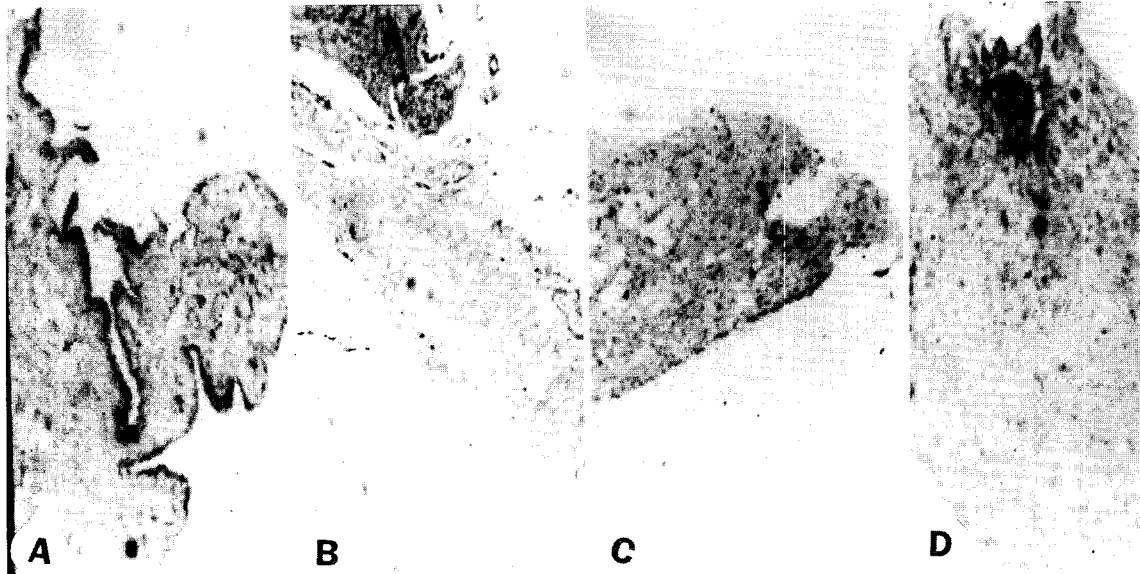
**Fig. 3.** Post-operative 1 day(Masson's trichrom stain  $\times 200$ ):Blue colored injured lesion in H-E stain confirmed red color in Masson's trichrom stain. **A.** Group I(6 Watt, Laser). **B.** Group II(12 Watt, Laser). **C.** Group III(60 $^{\circ}$ C direct thermal). **D.** Group IV(70 $^{\circ}$ C direct thermal).

3) 술 후 6주째 조직 소견

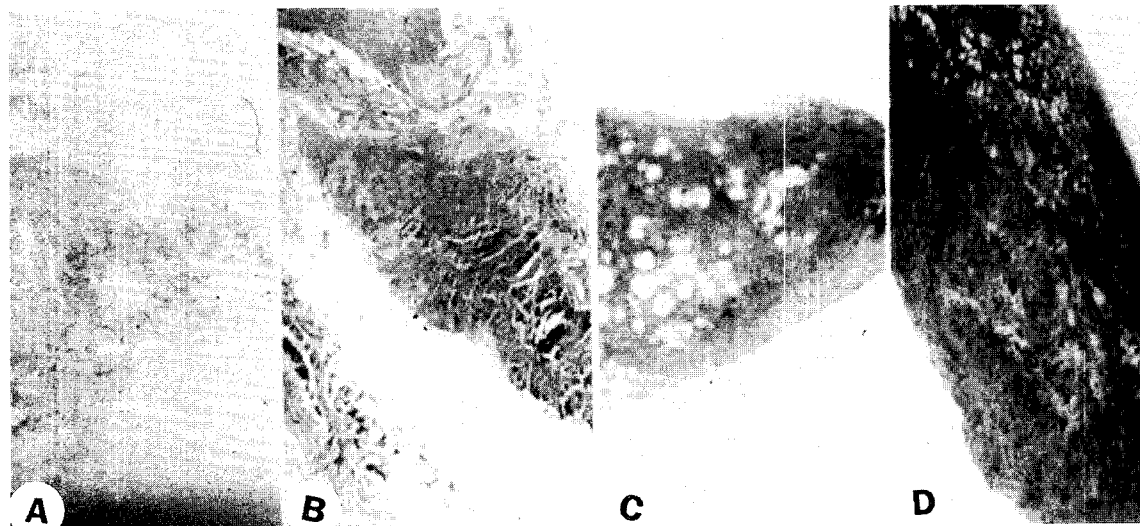
술 후 6주째 조직 소견의 특징은 신생혈관의 증

식과 콜라겐 섬유 배열의 정상화를 들 수 있다.

그러나 각 군에서 아직까지도 열 손상의 증거가 남아 있으며, 특히 70 $^{\circ}$ C 직접적 열 손상 군에서는



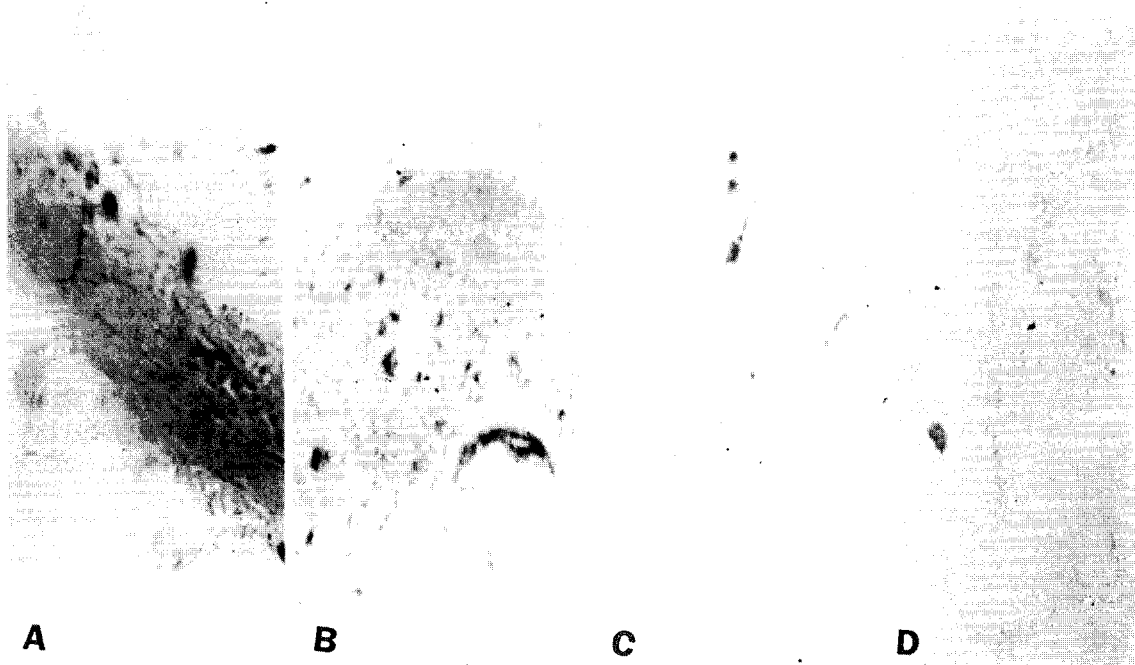
**Fig. 4.** Post-operative 3 weeks(H-E stain  $\times 200$ ):Continuous thermal damaged synovial lesion and subsynovial fibrosis. Collagen fiber pattern changed to fragmented and thinning. **A.** Group I(6 Watt, Laser). **B.** Group II(12 Watt, Laser). **C.** Group III(60 $^{\circ}$ C direct thermal) Marked synovial surface flattening due to subsynovial fibrosis. Collagen fiber pattern changed to fragmented and thinning. **D.** Group IV(70 $^{\circ}$ C direct thermal) More wide and deep thermal injury and massive fibrosis.



**Fig. 5.** Post-operative 3 weeks(Masson's trichrom stain  $\times 200$ ):Blue colored injured lesion in H-E stain confirmed red color lesion in Masson's trichrom stain. **A.** Group I(6 Watt, Laser). **B.** Group II(12 Watt, Laser). **C.** Group III(60 $^{\circ}$ C direct thermal). **D.** Group IV(70 $^{\circ}$ C direct thermal).

아직까지도 콜라겐 섬유 배열의 회복이 완전하게 이루어져 있지 않고 있어 섬유화가 더욱 진행될 것으로 예상되는 소견을 보여 주었다. 특히 60 $^{\circ}$ C

와 70 $^{\circ}$ C의 직접적 열 에너지 군의 경우 3주째에 관찰되던 섬유화로 인하여 완전한 활액막면의 편평화가 발생해 있어 이러한 편평화가 관절막 수축



**Fig. 6.** Post-operative 6 weeks(H-E stain  $\times 200$ ):Relieved from thermal damage but, focal injured area persistant. Collagen fiber pattern restored normal pattern. **A.** Group I(6 Watt, Laser). **B.** Group II(12 Watt, Laser) Neo-vascular formation are observed. **C.** Group III(60 $^{\circ}$ C direct thermal) Same as Group II. **D.** Group IV(70 $^{\circ}$ C direct thermal) Massive fibrosis were observed.

의 증거로 생각할 수 있게 하는 소견을 보여 주었다(Fig. 6, 7).

## 2. 전자 현미경 소견

전자 현미경 소견에서는 열 에너지 및 Laser에 대하여 섬유모세포의 변화(세포핵의 농축으로 염색질이 일정한 구조를 잃어버린 소견)(Fig. 8)와 40만배 소견에서 정상 콜라겐 섬유구조의 두 가지 형태인 200 nm 이상의 직경과 50~70 nm 직경이 혼합되어 있는 상태에서 모두 직경이 감소된 하나의 형태를 보이는 소견을 관찰할 수 있었으나(Fig. 9) 각 군간의 차이 및 에너지 역할에 따른 차이는 평가할 수 없었다.

## 고 찰

Laser에너지와 열 에너지에 의한 결체 조직의 변화에 대한 연구는 많은 실험을 통해 잘 알려진 사실이다<sup>4, 8, 9, 19, 22, 29, 36, 45, 47</sup>. 열 에너지는 콜라겐의 분

자간 및 분자내의 결합 형태를 변화시켜 정상적인 나선형 구조에서 휘어 감긴 수축된 구조로의 변화를 유발하며, 이로 인하여 결체 조직의 수축을 유발시킨다<sup>4, 6, 8, 13, 19, 26, 32, 45, 47</sup>. 비록 이러한 현상이 견관절의 이완이 있는 경우 관절막을 수축시키는 기전으로 설명되지만 Susan 등<sup>45</sup>의 가토의 슬개건을 이용한 Laser 실험 이외에는 현재까지 생체내 연구로 보고된 것은 적은 현실이다. 따라서 저자들은 가토의 관절막에 Laser 및 열 에너지를 가하여 수술 후 추시에 의한 조직학적 변화를 평가하고자 하였다.

Laser 에너지와 직접적인 열 에너지에 의해서 본 실험의 결과도 이전의 실험들과 유사하게<sup>4, 6, 8, 13, 19, 26, 32, 45, 47</sup> 열 손상의 증거인 섬유 모세포의 괴사 및 콜라겐 섬유의 용해를 초기 조직학적 소견에서 확인할 수 있었으며, 이후 추시된 3주와 6주의 조직학적 소견에서 관절막 수축의 기전으로 열 손상에 의한 전반적인 섬유화를 관찰할 수 있었다. 따라서 본 저자는 관절막에 대한 비용해성 Laser의

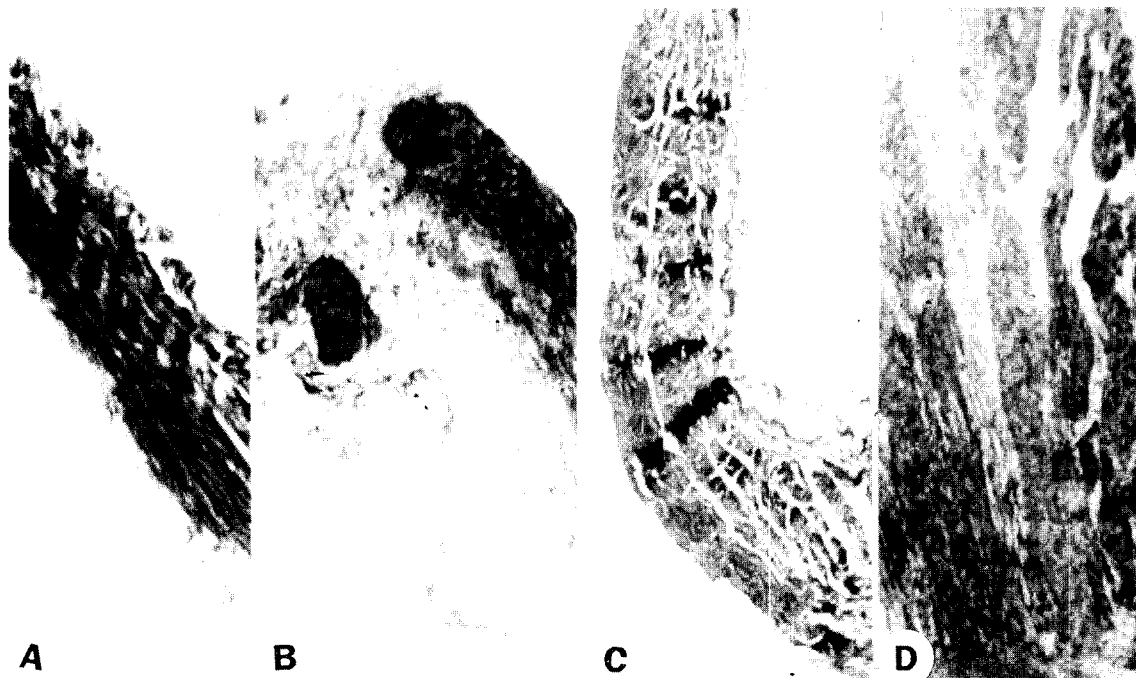


Fig. 7. Post-operative 6 weeks(Masson's trichrom stain  $\times 200$ ):Blue colored injured lesion in H-E stain confirmed red color lesion in Masson's trichrom stain. A. Group I(6 Watt, Laser). B. Group II(12 Watt, Laser). C. Group III(60 $^{\circ}$ C direct thermal). D. Group IV(70 $^{\circ}$ C direct thermal).



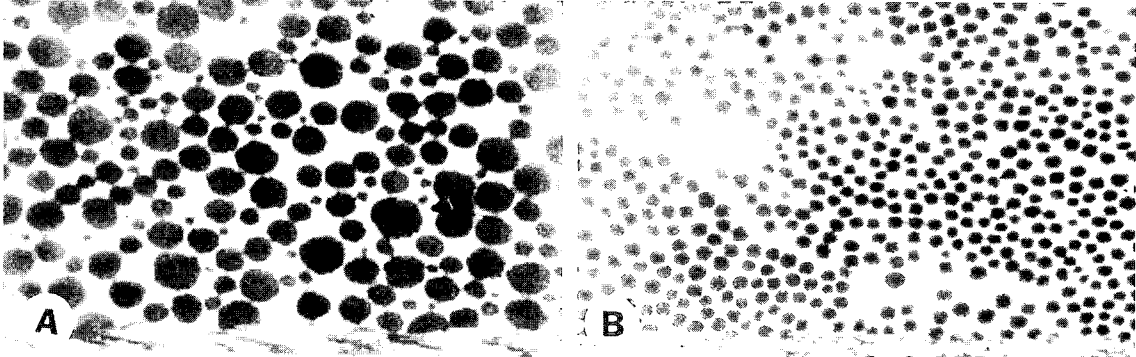
Fig. 8. A. Normal fibroblast in electron microscopy( $\times 6000$ ). B. Injured fibroblast by LASER in electron microscopy. Pyknotic nuclear change were prominent( $\times 6000$ ). C. Injured fibroblast by direct thermal energy in electron microscopy. Pyknotic nuclear change were more prominent than Laser( $\times 6000$ ).

효과는 일차적으로 laser의 광열효과에 의한 조직과 laser의 상호반응에 의한 것이며, 콜라겐 형질의 변화는 열 손상에 의한 이차적 변화로 생각할 수 있어 직접적인 열에너지에 의한 열손상도 궁극적으로는 콜라겐 형질의 변화를 가져올 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

열에 의해 유발되는 콜라겐의 수축은 잘 알려진

사실로서 Flory 등<sup>15-17</sup>에 의하면 콜라겐 결정형태와 비결정의 비결정 형태 사이에서의 전환에 의해 발생한 다고 하였다. 이들은 Gee 등<sup>18</sup>에 의해 제안된 고중합 물질의 열 역학 이론을 적용하여 이러한 전환이 하나의 결정형태의 고중합체가 열에 의해 유합되는 것과 똑같은 기전에 의한 것으로 설명하고 있다<sup>15</sup>. 즉, 이러한 전환과정을 콜라겐의 변





**Fig. 9. A.** Normal collagen fiber bimodal pattern in electron microscopy( $\times 400,000$ ). **B.** Injured collagen fiber unimodal pattern in electron microscopy( $\times 400,000$ ). Normal collagen fiber pattern in bimodality, but injured collagen fiber pattern had unimodality.

성(renaturation) 또는 젤라틴화로 표현할 수 있다. 좀 더 최근의 Allan 등<sup>1)</sup>의 콜라겐의 수열선(hypothermal) 수축에 대한 연구에서 콜라겐의 변성은 삼중 나선구조가 풀리면서 그 변성이 시작한다고 하였으며, 온도가 높아질수록 열에 민감한 교차결합의 용해가 발생하지만 열에 저항성이 있는 교차결합은 유지가 되어 콜라겐의 콜라겐 섬유 장력을 유지하는 요소로 작용한다고 하였다. 콜라겐은 콜라겐 분자들 사이의 몇가지 종류의 공유결합에 의해서 안정성이 유지되는데 이것은 콜라겐 조직의 나이와 고유 특성에 의해 결정된다<sup>2)</sup>. 콜라겐의 나이가 증가할수록 환원될 수 있는 교차결합의 수는 감소하여 대부분이 안정성이 있는 비환원성 결합을 형성한다. 이러한 비환원성 결합으로된 성숙된 콜라겐은 산성 용매나 열에너지에 대한 변성력에 저항할 수 있다<sup>3)</sup>. 종합적으로 Allan 등<sup>1)</sup>의 연구에서 열에너지 및 laser 에너지에 의해 콜라겐의 삼중 나선 구조의 해체가 발생하여 열 손상에 의한 수축은 발생하지만 열에 저항하는 교차결합은 유지되어 콜라겐의 안정성에는 변화를 주지 않는다고 하였으며, Hayashi 등<sup>25)</sup>은 그들의 실험적 연구에서 콜라겐의 생화학적 특성의 변화나 이러한 비환원성 콜라겐의 변화는 발생하지 않았다고 보고하였다.

Guthrie 등<sup>23)</sup>은 argon laser를 이용한 혈관 조직의 유합 연구에서 laser 에너지에 대한 반응으로 제 5형 콜라겐의 베타사슬의 증가 및 제 1형 콜라겐 섬유의 감마 사슬과 156-kDa 단백질, 82 kDa

단백의 증가를 보고하였다. 이는 Laser에 대한 결합 조직의 수축이 구조 단백질의 결합 방식의 변화와 단백질의 변성에 의해서라는 결론을 내릴 수 있게 한다. 또한 Bass 등<sup>4)</sup>은 백서의 꼬리에 808-nm diode laser를 이용하여 제 1형 콜라겐의 변화를 연구하였는데, Guthrie 등<sup>23)</sup>과 Bass 등<sup>4)</sup>의 결과를 비교해 보면 laser 에너지를 받은 조직에서는 콜라겐 섬유의 나선형 구조가 소실되며, 공유결합이 존재하지 않음을 보여준다. 따라서 변성된 콜라겐 분자들의 비공유결합에 의해 조직의 수축이 발생한다는 결론을 얻을 수 있었다. 이와 같은 결론으로 Pearce 등<sup>38)</sup>은 Laser에 의한 조직의 융합은 조직 콜라겐의 변성에 의존한다고 보고하였다.

본 실험에서 Masson's trichrome 염색에서 콜라겐의 변화된 염색성을 관찰할 수 있었는데 이러한 변화는 피부의 콜라겐을 열에 의한 콜라겐 변성 온도(60°C~65°C)로 가열한 후 염색성의 변화에 대한 연구<sup>14)</sup>와 일치하는 결과를 보여 주었다. 이러한 염색성의 변화는 열에 의해 변성된 콜라겐은 변성되기 전에는 노출되지 않았던 또는 삼중 나선 구조 안에 있었던 아미노군의 노출에 의해서라고 설명할 수 있다. 즉 본 실험의 결과에서 보는 Masson's trichrome 염색상의 이 염색성은 바로 이런 삼중 나선 구조의 파괴를 의한다고 할 수 있다. 콜라겐의 열에너지의 효과에 대하여 많은 실험적 연구들<sup>13,15 17,24,32,40,48)</sup>이 시행되어 졌다. 비록 본 실험 연구가 이전의 위와 같은 실험들과 유사한 결과를 얻었지만 이전의 실험들이 순수하게 열

에너지에 대한 콜라겐 변성의 연구인 반면 본 실험은 직접적인 열 에너지 및 laser의 여러 가지 효과(광열 효과, 광화학 효과, 광기계적 효과, 광음효과)를 비교하려 하였고, 결론으로 가장 중요한 laser의 효과는 광열 효과라 할 수 있었다.

비록 이러한 실험적 연구들이 Laser나 직접적인 열 에너지에 의한 콜라겐 섬유 특성의 변화에 대하여 정확한 기전을 설명하지는 못하지만 이들의 결과를 고찰해 보면 비용해성의 Laser 에너지와 직접적인 열 에너지에 의해 콜라겐의 미세 구조 및 생화학적 변성을 유도할 수 있으며, 이는 모두 단순한 열에 의한 반응으로 요약될 수 있어 열 에너지를 가하는 방법이 무엇이든지 유사한 결과를 도출해 낼 수 있다고 결론 지을 수 있다. 본 실험에서도 Laser 및 Oratec(Stryker, Co.)을 이용한 직접적인 열 에너지의 공급 방법 모두에서 각각의 에너지 단위에 따른 열 손상 및 섬유화의 정도에 차이는 있었지만 두 에너지 모두에서 같은 결과를 도출할 수 있었다.

### 요약 및 결론

본 실험은 가토의 슬관절막에 비 용해성의 Laser 에너지와 직접적 열 에너지를 가함으로써 가토의 관절막에 발생하는 변화를 광학 현미경적, 전자 현미경적으로 분석하고자 하였다. 각각의 에너지는 모두 관절막에 열 손상의 증거를 보여 주었고 그 에너지 역가에 따른 정도의 변화를 보여 주었다. 또한 계속된 생체내 추시 검사에서 관절막의 활액막 이하부위의 섬유화로 인한 활액막의 편평화를 관찰할 수 있어 열 에너지에 대한 관절막 수축의 기전을 Laser의 광열효과 및 직접적 열 에너지에 의한 열 손상, 열 손상으로 인한 염증 반응으로 발생하는 활액막면 이하부위의 섬유화 및 신생 혈관의 형성, 마지막으로 활액막면 이하부의 섬유화로 인한 활액막면의 편평화 임을 확인할 수 있었다. 이상의 결론으로 관절막의 이완성이 있는 경우 Laser 및 직접적인 열 에너지가 관절막의 콜라겐 섬유의 변성을 유발하며 섬유화를 발생시켜서 이완된 관절막을 수축시킬 수 있는 방법임을 확인하였다. 그러나 향후 수축된 슬관절막의 기계적 특성에 대한 연구 및 본 실험에서 시행한 콜라겐의 형태

연구 뿐 아니라 정상 콜라겐 성분과 변성된 콜라겐 성분의 각 형을 정량 및 정성적으로 분석하는 연구가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

### REFERENCES

- 1) **Allain JC, Le Lous M, Cohen-Solal L, et al** : Isometric tension developed during the hydrothermal of rat skin. *Connect Tissue Res* 7:127-133, 1980.
- 2) **Altchek DW** : Shoulder instability in the throwing athlete. *Sports Med. Arthroscopy Rev* 1:210-216, 1993.
- 3) **Altchek DW, Warren RF, Skyhar MJ, et al** : T-plasty modification of the Bankart procedure for multidirectional instability of the anterior and inferior types. *J Bone Joint Surg* 73A:105-112, 1991.
- 4) **Bass LS, Moazami N, Pocsidio J, et al** : Changes in type I collagen following laser welding. *Lasers Surg Med* 12:500-505, 1992.
- 5) **Brems JJ, Bergfeld J** : Multidirectional shoulder instability. *Orthop Trans* 15:84, 1991.
- 6) **Bruckner P, Prockop DJ** : Proteolytic enzymes as probes for the triplehelical conformation of procollagen. *Anal Biochem* 110:360-368, 1981.
- 7) **Burkhead Wz, Rockwood CA Jr** : Treatment of instability of the shoulder with an exercise program. *J Bone Joint Surg* 74A:890-896, 1992.
- 8) **Dillingham MF, Price JM, Fanton GS** : Holmium laser surgery. *Orthopedics* 16:563-566, 1993.
- 9) **Duffy S, Davis M, Sharp F, et al** : Preliminary observations of Holmium: YAG laser tissue interaction using human uterus. *Lasers Surg Med* 12:147-152, 1992.
- 10) **Dunphy MJ, Bhide MV, Smith DJ** : Determination of hydroxyproline in tissue collagen hydrolysate by derivatization and isocratic reverse-phase high-performance liquid chromatography. *J Chromatography* 420:394-397, 1987.
- 11) **Emery RJH, Mullaji AB** : Glenohumeral joint instability in normal adolescents: Incidence and significance. *J Bone Joint Surg* 73B:406-408, 1991.
- 12) **Eyre DR, Koob TJ, Van Ness KP** : Quantitation of hydroxypyridinium crosslinks in collagen by high-performance liquid chromatography. *Anal Biochem* 137:380-388, 1984.

- 13) **Finch A, Ledward DA** : Shrinkage of collagen fibres: A differential scanning calorimetric study. *Biochem Biophys Acta* 278:433-439, 1972.
- 14) **Flint MH, Lyons MF** : The effect of heating and denaturation on the staining of collagen by the Masson trichrome procedure. *Histochem J* 7:547-555, 1975.
- 15) **Flory PJ, Garrett RR** : Phase transition in collagen and gelatin systems. *J Am Chem Soc* 80:4836-4845, 1958.
- 16) **Flory PJ, Spurr OK** : Melting equilibrium for collagen fibers under stress. Elasticity in the amorphous state. *J Am Chem Soc* 83:1308-1316, 1960.
- 17) **Flory PJ, Weaver Es** : Helix coil transition in dilute aqueous collagen solutions. *J Am Chem Soc* 82:4518-4525, 1959.
- 18) **Gee G** : Some thermodynamic properties of high polymers, and their molecular interpretation. *Quart Rev* 1:265-298, 1947.
- 19) **George S, Nasect III et al.** : The thermal properties of bovine joint capsule. The basic science of laser and radiofrequency induced capsular shrinkage. *Am J Sport Med* 25:670-674, 1997.
- 20) **Gorisch W, Boergen KP** : Heat-induced contraction of blood vessels. *Lasers surg Med* 2:1-13, 1982.
- 21) **Gosselin LE, Martiez DA, Vailas AC. et al** : Interstitial space and collagen alterations of the developing rat diaphragm. *J Appl Physiol* 74:2450-2455, 1993.
- 22) **Gottlob C, Kopchok GE, Peng SK** : Holmium: YAG laser ablation of human intervertebral disc: Preliminary evaluation. *Laser Surg Med* 12:86-91, 1992.
- 23) **Guthrie CR, Murray LW, Kopchok GE, et al** : Biochemical mechanisms of laser vascular tissue fusion. *J Invest Surg* 4:3-12, 1991.
- 24) **Haly AR, Snaith JW** : Calorimetry of rat tail tendon collagen before and after denaturation: The heat of its absorbed water. *Biopolymers* 10:1681-1699, 1971.
- 25) **Hayashi K, Markel MD, Thabit G III, et al** : The effect of nonablative laser energy on joint capsular properties: An in vitro mechanical study using a rabbit model. *Am J Sports Med* 23:482-487, 1995.
- 26) **Horgan DJ, King NL, Kurth LB, et al** : Collagen crosslinks and their relationships to the thermal properties of calf tendons. *Arch Biochem Biophys* 281:21-26, 1990.
- 27) **Jobe FW, Giangarra CE, Kvitne RS, et al** : Anterior capsulolabral reconstruction of the shoulder in athletes in overhand sports. *Am J Sports Med* 19:428-434, 1991.
- 28) **Kleftogiannis F, Handley CJ, Campbell MA** : Characterization of extracellular matrix macromolecules from bovine synovial capsule. *J Orthop Res* 12:365-374, 1994.
- 29) **Kostolich M, Bartels KE, Schafer SA, et al** : Ho: YAG laser ablation of alimentary tract mucosa. *The Society of photo-Optical Instrumentation Engineers* 1880:74-81, 1993.
- 30) **Lebar RD, Alexander AH** : Multidirectional shoulder instability. Clinical results of inferior capsular shift in an active-duty population. *AM J sports Med* 20:193-198, 1992.
- 31) **LeCarpentier GL, Motamedi M, McMath LP, et al** : Continuous wave laser ablation of tissue: Analysis of thermal and mechanical events. *IEEE Trans Biomed Eng* 40:188-200, 1993.
- 32) **Lim JJ** : Transition temperature and enthalpy change dependence on stabilizing and destabilizing ions in the helix-coil transition in native tendon collagen. *Biopolymers* 15:2371-2383, 1976.
- 33) **Markel MD** : The power of a statistical test. What does insignificance mean? *Vet Surg* 20:209-214, 1991.
- 34) **Moreira H, Campos M, Sawusch MR, et al** : Holmium laser thermokeratoplasty. *Ophthalmology* 100:752-761, 1993.
- 35) **Murray LW, Su L, Kopchok GE, et al** : Crosslinking of extracellular matrix proteins: A preliminary report on a possible mechanism of argon laser welding. *Lasers Surg Med* 9:490-496, 1989.
- 36) **O'Brien SJ, Miller DV** : The contact holmium-yttrium aluminum garnet laser. A new approach to arthroscopic laser surgery. *Clin Orthop* 252:95-100, 1990.
- 37) **OzMC, Bass LS, Popp HW, et al** : In vitro comparison of thulium-holmiumchromium:YAG and argon ion lasers for welding biliary tissue. *Lasers Surg Med* 9:248-253, 1989.
- 38) **Pearce JA, Thomsen S** : Kinetic models of laser-tissue fusion processes. *Biomed Sci Instrum* 29: 355-360, 1993.
- 39) **Pollock RG, Bigliani LU** : Glenohumeral instability: Evaluation and treatment. *J Am Acad*

- Orthop Surg* 1:24-32, 1993.
- 40) **Rabau MY, Wasserman I, Shoshan S** : Healing process of laser-welded intestinal anastomosis. *Lasers Surg Med* 14:13-17, 1994.
- 41) **Rigby BJ** : The effect of mechanical extension upon the thermal stability of collagen. *Biochim Biophys Acta* 79:634-636, 1964.
- 42) **Schober R, Ulrich F, Sander T, et al** : Laser-induced alteration of collagen substructure allows microsurgical welding. *Science* 232:1421-1422, 1986.
- 43) **Sherk HH** : The use of lasers in orthopaedic procedures. *J Bone Joint Surg* 75A:768-776, 1993.
- 44) **Steiner D, Hermann B** : Collagen fiber arrangement of human shoulder joint capsule-An anatomical study. *Acta Anat(Basel)* 136-300-302, 1989.
- 45) **Susan L, Schecter et al** : Tissue shrinkage with the holmium yttrium aluminum garnet laser. *Am J Sport Med* 25:841-848, 1997.
- 46) **Thabit G** : Treatment of unidirectional and multi-directional glenohumeral instability by an arthroscopic holmium:YAG Laser-assisted capsular shift procedure-A pilot study, in *Laser Application in Arthroscopy*. Neuchatel, Swizerland, The International Musculoskeletal Laser Society, 1994.
- 47) **Trauner k, Nishioka N, Patel D** : Pulsed holmium:yttrium-aluminum garnet(Ho:YAG) laser ablation of fibrocartilage and articular cartilage. *Am J Sports Med* 18:316-320, 1990.
- 48) **Verzar F, Nagy IZ** : Electronmicroscopic analysis of thermal collagen denaturation in rat tail tendons. *Gerontologia* 16:77-82, 1970.
- 49) **Warner JP, Marks PH** : Management of complications of surgery for anterior shoulder instability. *Sports Med Arthroscopy Rev* 1:272-292, 1993.
- 50) **Young DC, Rockwood CA Jr** : Complications of failed Bristow procedure and their management. *J Bone Joint Surg* 73A:969-981, 1991.