

Laser를 이용한 새로운 미세혈관 문합술의 실험적 연구

고려대학교 의과대학 성형외과학교실

조진환 · 임재호 · 박승하 · 김우경

— Abstract —

Experimental Study of Laser Assisted Microvascular Anastomosis (LAMA) Using the Nd:YAG Contact Laser

Jin Hwan Cho, M.D., Jae Ho Lim, M.D.,
Seung Ha Park, M.D., Woo Kyung Kim, M.D.

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

A comparative study was undertaken to evaluate the contact Neo-dymium:yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) laser system for vascular anastomosis of small caliber blood vessels (diameter 0.5-1.2 mm) in the animal model.

In this study 40 femoral arteries and 40 femoral veins of Sprague-Dawley rats were anastomosed by contact laser assisted microvascular anastomosis (LAMA) utilizing 3 stay sutures which were placed 120 degrees apart and the intervals welded with contact Nd:YAG laser unit, conventionally sutured anastomosis (CSA) served as controls.

The time needed for vascular anastomosis, patency rate (immediate postoperative, postoperative 2nd day, postoperative 1 week, postoperative 4 weeks), gross and microscopic evaluations were compared to conventional microsurgical suture technique.

The results are as follows:

1. Postoperative patency rate was 82.5% for femoral artery and 75% for femoral vein by contact LAMA technique compared to 90% and 75% by CSA technique at postoperative 4 weeks.
2. Less time-consumed for arterial anastomosis by 6 minutes 23 seconds and venous anastomosis by 8 minutes 55 seconds with contact LAMA technique compared to CSA technique.
3. Grossly almost complete healing had taken place by postoperative 1 week by contact LAMA technique.
4. Aneurysm formation was 5% for femoral artery and 15% for femoral vein by contact LAMA technique compared to 5% and 10% respectively by CSA technique.
5. Microscopically, re-endothelization was complete by postoperative 7th day by contact LAMA technique. There was less medial hypertrophy and hyperplasia and also less inflammatory response compared to CSA.

Key Words: Laser, microvascular anastomosis

서 론

최근 수년동안 수술현미경의 발달과 미세수술기구 및 봉합사의 개발 등으로 현미경을 이용한 미세혈관 수술은 놀라울 만큼 발전하여 보편화 되어 있으나, 이러한 기구의 발달과 기술 향상에도 불구하고 미세혈관 수술후 생성될 수 있는 혈전에 의한 문합부 폐쇄는 여전히 해결되지 않는 큰 문제로 남아 있다.

현재 성형외과 영역에서 통상 술기로 사용되고 있는 미세혈관 문합술로는 단순봉합에 의한 단단 문합술이 가장 널리 이용되고 있으나, 봉합침과 봉합사는 혈관벽에 손상을 주고 혈전유발물질로 작용함으로 최근 혈관내막의 손상을 줄이며, 개존율을 높이고 수술조작이 간편하여 문합을 신속하게 시행하기 위해 많은 새로운 방법들이 시도되고 있다.

저자는 미세혈관문합술에서 상기와 같은 문제점들을 줄이기 위해 최소의 고정봉합과 동시에 레이저를 이용한 혈관문합술(LAMA: Laser assisted microvascular anastomosis)를 시행하였다.

본 실험에서는 1064nm 파장의 Neodymium: yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) contact laser를 사용하여 미세혈관 문합술을 시행하였는데 이 방법의 장점은 조직을 쉽게 조작할 수 있고, 혈관 손상의 감소 및 적은 이물반응 등을 들 수 있으며 이러한 레이저의 이점을 이용하여 백서에서 각각 40개씩의 동맥과 정맥을 문합시켜 문합에 소요된 시간, 혈관개존율(수술직후, 2일째 술후 1주, 술후 4주), 육안적 소견 및 병리조직학적 소견 등을 통상적인 단순봉합에 의한 단단문합술과 비교 분석하였다.

실험재료 및 방법

가. 실험 재료

실험동물로는 체중 300-350gm의 백서(Sprague-Dawley rat) 40마리를 4군으로 나누어 그 중 20마리는 양측 대퇴동맥(제1군) 및 대퇴정맥(제2군) 각각 40개를 단순봉합법으로 문합하여 대조군으로 하였고 나머지 20마리는 3개의 고정봉합(stay

suture)을 120도 각도로 시행후 각각 40개의 대퇴동맥(제3군)과 대퇴정맥(제4군)을 레이저로 봉합을 시행하였다(Table 1).

Table 1. Number and type of anastomosis

Group	Number and type of anastomosis
I	40 Femoral arteries by CSA*(control)
II	40 Femoral veins by CSA*(control)
III	40 Femoral arteries by LAMA**
IV	40 Femoral veins by LAMA**

* CSA : Conventional suture anastomosis

** LAMA : Laser assisted microvascular anastomosis

마취는 chloral hydrate 0.5cc/100gm을 복강내 주입하여 시행하였으며, 문합에 이용된 대퇴동맥의 평균 내경은 0.8mm, 대퇴정맥은 1.2mm 이었다. 혈관 문합은 K-280 laboratory microscope (Konnan Co.)하에서 시행되었으며, 단순봉합군에 있어서는 50um needle의 10-0 monofilament nylon suture (Ethicon Co.)를 사용하였다.

레이저 문합을 위해서, 저자들은 1064nm의 파장을 가진 SLT (Surgical Laser Technology Co.)사의 Neodymium:yttrium aluminum garnet laser를 사용하였는데 레이저 tip의 크기는 0.2mm이었으며 power는 2.4watt의 continuous mode를 이용하였다(Fig. 1).

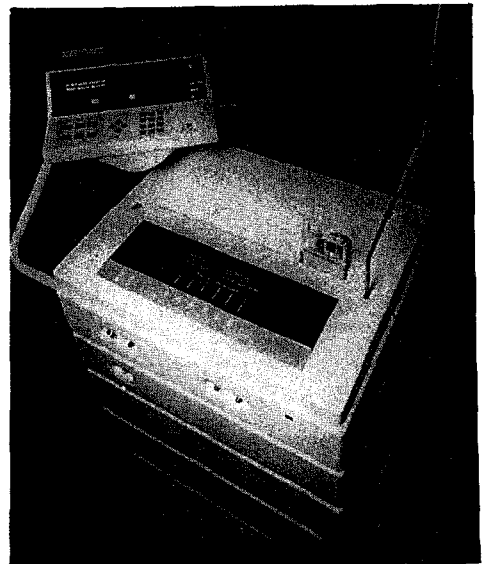


Fig. 1. Neodymium:yttrium aluminum garnet contact laser

나. 문합 방법

봉합사로 단단문합을 시행한 대조군에서는 혈관을 절단후 대퇴동맥(제1군)은 평균 8회의 단순봉합을 시행하였고, 대퇴정맥(제3군)은 평균 10회의 단순봉합을 시행하였다. 레이저문합을 시행한 경우 대퇴 혈관을 박리, 노출시키고 Acland approximation vascular clamp를 이용하여 절단된 혈관을 근접시켰으며, 동맥에 있어서는 120도 간격으로 3개의 고정봉합을 시행하였다. 절단된 면을 밀착한 후 레이저 tip을 이용하여 혈관조직의 용접(Welding)을 고정봉합 간격당 평균 3회씩 시행하였는데, 각 노출당 0.1-0.2sec 정도로 시행하였다(Fig. 2-8). 레이저 문합 시행후 원위부의 clamp를 풀어, 누수여부 확인후 누수부위는 필요시 다시 용접시켰다. 정맥에 있어서는 동맥문합술과 동일하게 레이저를 사용하여 문합하였다.

다. 결과 관찰

저자들은 단순봉합과 레이저 문합을 비교하기

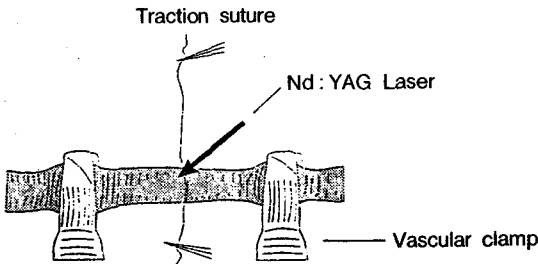


Fig. 2. Schematic diagram of the anastomotic procedure

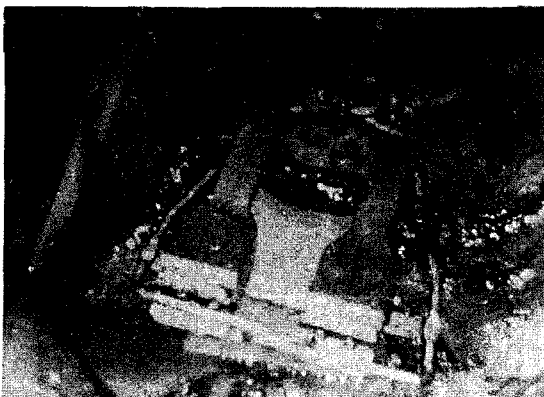


Fig. 3. Exposed femoral artery between vascular clamps

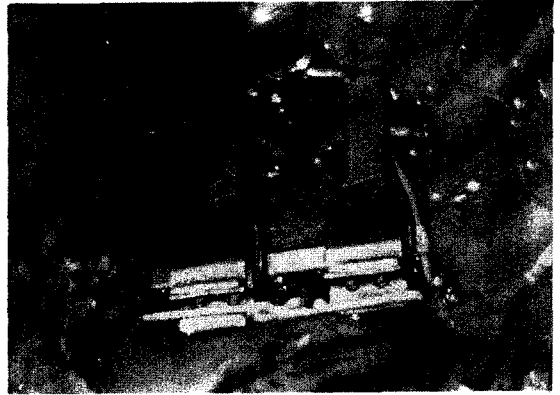


Fig. 4. Femoral artery divided at the center

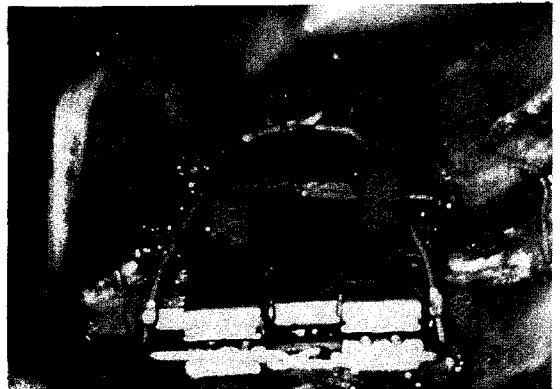


Fig. 5. 3 Traction sutures are placed at 120 degree intervals

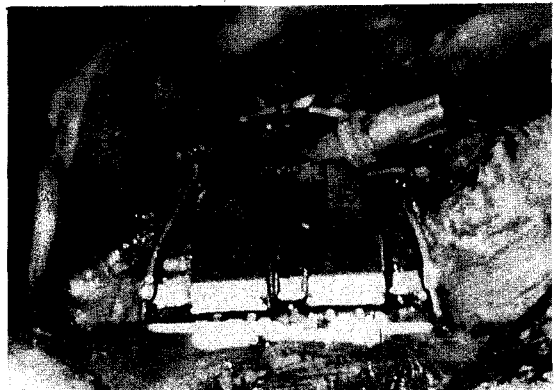


Fig. 6. Anterior wall is anastomosed by Nd:YAG laser

위하여, 혈관개존율을 수술직후, 2일, 1주, 4주 비교하였고, 혈관문합에 소요된 시간을 측정하였으며, 술후 2일, 1주, 4주의 육안적 소견 및 현미경 소견을 비교 관찰하였다. 조직소견은 Hematox-

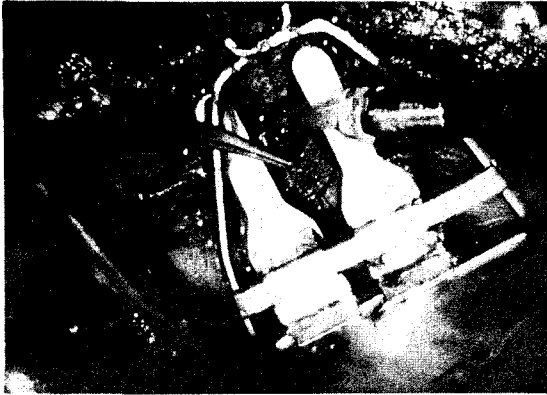


Fig. 7. Posterior wall is anastomosed by Nd:YAG laser

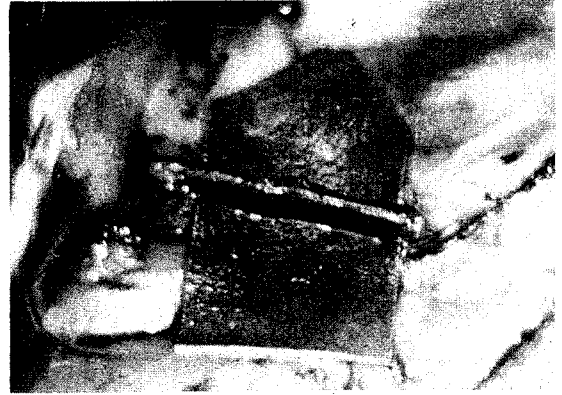


Fig. 8. Immediate post-operative view of femoral artery after release of vascular clamps

ylene-Eosin stain과 Verhoeff's elastic fiber stain을 시행하여, 광학현미경으로 비교 관찰하였다.

연구결과 및 실적

가. 개존율

술후의 혈관개존율은 문합 직후에는 1군에서 100%, 2군에서는 80%, 3군에서는 85%, 4군에서는 80%를 보였으며, 술후 2일째에는 1군에서는 95%, 2,3,4군은 직후와 동일한 개존율을 보였다.

문합시행 1주후에서는 대조군인 단순봉합으로 문합한 동맥군, 즉 제1군에서 90% 및 단순봉합으로 문합한 정맥군, 제2군에서 75%의 개존율을 보였고 레이저로 문합한 동맥군 제3군에서 82.5% 및 레이저로 문합한 정맥군, 제4군에서 75%의 개존율을 보였다. 술후 4주재에는 술후 1주군과 같은 결과를 얻었다. 레이저로 문합한 동맥 및 정맥군에서의 개존율은 장기 추적결과 술후 1주 및 4주

군에서 단단문합한 대조군에 비교해볼 때 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.1$) (Table 2).

나. 문합 소요시간

단순봉합군의 경우 동맥은 15분에서 27분 사이로 평균 20분 28초가 소요되었으며 정맥에서는 21분에서 35분 사이로 평균 27분 29초 소요되었다. 레이저 문합군에서는 동맥이 9분에서 20분 사이로 평균 14분 5초 소요되었으며 정맥에서는 4분에서 21분 사이로 평균 18분 34초 소요되었다(Table 3).

특히 정맥은 혈관벽이 연약하여 혈관문합시 시간을 많이 요하였으나 레이저문합법을 이용한 경우 평균 문합시간을 동맥에서는 6분 23초, 정맥에서는 8분 55초 단축시킬 수 있었으며 통계적으로 유의하였다($p < 0.01$).

Table 2. Patency rate

Post operative period	Artery		Vein	
	CSA*	LAMA**	CSA*	LAMA**
	Group I 군	Group III	Group II	Group IV
Immediate	100% (40/40)	85% (34/40)	80% (32/40)	80% (32/40)
2nd day	95% (38/40)	85% (34/40)	80% (32/40)	80% (32/40)
1 week	90% (36/40)	82.5% (33/40)	75% (30/40)	75% (30/40)
4 week	90% (36/40)	82.5% (33/40)	75% (30/40)	75% (30/40)

* CSA : Conventional suture anastomosis

** LAMA : Laser assisted microvascular anastomosis

Table 3. Anastomosis time

Method	Artery		Vein	
	CSA* (Group I)	LAMA** (Group III)	CSA* (Group II)	LAMA** (Group IV)
Average anastomotic time	20min. 28sec.	14min. 5sec.	27min. 29sec	18min. 34sec.

* CSA : Conventional suture anastomosis

** LAMA : Laser assisted microvascular anastomosis

다. 육안적 소견

단순봉합군이나 레이저봉합군에서 육안적으로 수술직후 동맥 및 정맥의 혈관 형태를 잘 유지하였으며(Fig. 8) 술후 2일째, 술후 1주(Fig. 9) 및 술후 4주째(Fig. 10)까지 혈관의 폐쇄나 괴사 소견은 보이지 않았다. 술직후 문합부 틈새로 누수되는



Fig. 9. Post-operative 1 week view femoral artery and vein anastomosed by LAMA technique



Fig. 10. Post-operative 4 week view of femoral artery anastomosed by LAMA technique

현상은 소수에서 발생하였으나 이럴 경우 단순봉합군에서는 술직후 추가봉합을 하였고 레이저봉합군에서는 레이저로 국소적 추가용접을 시행하여 폐쇄하였다. 레이저봉합군에서는 술후 2일째와 1주째까지는 혈관 전체가 약간 확장된 소견의 특이한 사항이 없었으나 술후 4주째 단순봉합군의 경우는 동맥에서 5%(2개)와 정맥에서 10%(4개)의 동맥류 형성을 보였고 레이저문합군에서는 동맥이 5%(2개), 정맥이 15%(6개)에서 방추형(fusiform dilatation)의 확장소견을 보여주었다.

라. 조직학적 소견

레이저문합군에서 문합 2일후 유착된 혈관의 문합부에 부분적인 신생내막이 나타내며, 문합 1주후에 완전한 신생내막의 형성으로 문합부에 유착된 부위에 혈전형성은 없으며, 문합 1주후에는 근위부 혈관과 원위부혈관 사이가 결합조직으로 채워져 완전히 유착된 것을 보였다. 레이저문합에 대한 이물반응은 개체에 따라 정도의 차이는 있었으나, 외막에 한정되어 나타나며, 중막의 피사나 내막의 혈전은 없었다.

조직학적으로 문합후 1주째 소견이 제일 상반되었는데 단순봉합한 동맥의 경우에는 봉합부위의 혈관내피세포에 점상의 혈관내피세포 결손과 주변 혈관내피세포의 비후가 관찰되었으며, 혈관근층에서도 세포의 밀집도가 증가되는 비후가 관찰되었다. Verhoeff's elastic fiber 염색에서는 내부 탄성층의 결손과 조직의 함몰소견을 나타냈다(Fig. 11 및 Fig. 12).

레이저 문합한 동맥에서는 내부 탄성층의 결손이 주변과 경계가 부분적으로 절단돼 있었으며, 그 직하부위의 근층 및 혈관내피세포의 변화는 없었으나, 혈관벽의 일부에서는 혈관내벽과 상부근

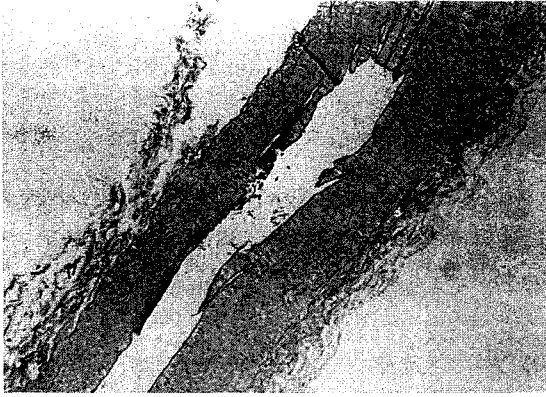


Fig. 11. Low-power view of femoral artery anastomosed by suture method post-operative 1 week. There is focal endothelial disruption and medial thickening accompanied by localized foreign body reaction and lymphocytic infiltration (Hematoxylin-Eosin stain, $\times 40$)

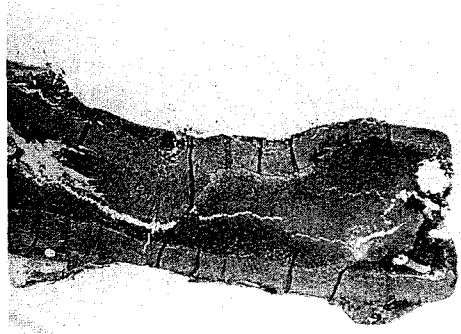


Fig. 13. Low-power view of femoral artery anastomosed by laser technique. There is almost complete healing of vessel wall due to re-endothelization (Hematoxylin-Eosin stain, $\times 40$)

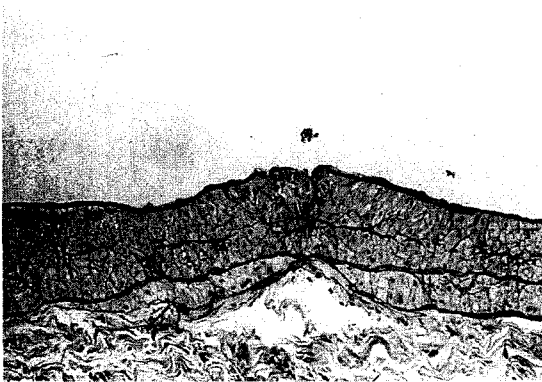


Fig. 12. High-power view of femoral artery anastomosed by suture method at post-operative 4 weeks. There is proliferation of myocytes with medial hypertrophy and hyperplasia, focal discontinuation of internal elastic lamina (Verhoff's elastic stain, $\times 400$)

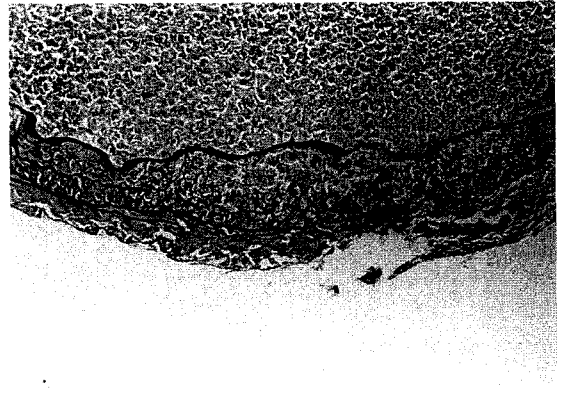


Fig. 14. High-power view of femoral artery anastomosed by laser technique. Internal elastic lamina is regenerated and intact. There is continuation of endothelial layer also focal necrosis and inflammatory response is limited to the adventitia (Verhoff's elastic stain, $\times 400$)

층에 출혈성 괴사가 일어난 부위가 관찰되었다 (Fig. 13 및 Fig. 14). 정맥에 있어서도 동맥에서와 유사한 조직학적 소견을 나타내었는데 단순봉합한 정맥에서는 혈관내피세포의 증식과 비후 소견이 관찰되었으며 혈관외막에 임파구 세포들이 출현하였고 세포질에 공포성 변형이 관찰되었고 내측 탄성층의 부분적 결손과 함몰소견도 나타냈다. 레이저 문합한 정맥에서는 국소적으로 혈관내피세포의 비후와 증식이 관찰되었고 혈관 외막

에 염증소견은 보이지 않았으며 탄성염색에서 내부 탄성층의 부분적 결손과 소실이 관찰되었다.

레이저문합군에서 동맥류가 형성된 경우에 있어서는, 정상적인 내측 탄성층과 근층의 탄성 섬유들의 소실 내지는 분절화가 보이고, 근층의 근세포 역시 소실되어 콜라겐으로 대체되어 있었고 혈관내피세포 역시 증식되어 있었는데, 그 직하부에 소수의 임파구가 관찰되었다.

고 찰

최근 수술현미경의 발달과 미세수술기구 및 봉합사의 개발 등으로 미세혈관문합술 수기 자체에 많은 진전이 있어서 수술후 성적이 향상되고 있다.

이러한 미세혈관 수술의 성공여부는 곧 개존율을 의미하게 되는데, 개존율에 관여하는 요인들로서는 기술의 정확성, 혈전형성, 봉합방법, 동맥류 형성 및 염증등이 있으며, 미세혈관의 단단문합 수술후 혈전은 필연적인 것이지만, 정확한 기술로 혈관에 손상을 적게 주는 것이 가장 중요한 요인으로 알려져 있다.

혈전의 원인이 혈액의 응고, 혈류의 장애, 혈관벽의 변화로 생성된다면 혈관 수축도 부적절한 기술에 의해 형성되므로 기술의 정확성은 미세혈관문합에서 개존율에 영향을 미치는 가장 중요한 요인이며 혈관문합부를 정확히 접합하는 것과 내피의 손상을 줄여야 할 필요성이 있다고 많은 저자들에 의해 강조되었다.

미세혈관 문합술에서는 단순봉합에 의한 문합술이 널리 이용되고 있으나 단순봉합술시 봉합수가 많을수록 혈관에 손상을 주고 정상적인 생리작용을 방해함으로 봉합의 수를 줄이기 위한 다양한 방법들이 시도되고 있다.

수술 현미경 사용 이전에 1900년 Payr가 absorbable extraluminal magnesium ring을 고안하여 기술한 후 vittallium tube¹⁾, metallic staple device²⁾, everted pinned ring device⁴⁾, tantalium cuffing ring⁵⁾ 등이 개발되어왔으며, 수술현미경 개발 이후인 1973년에 와서는 McLean이 saran wrap cuff⁶⁾를 사용하였으며, MgSO₄와 silicon cuff⁷⁾, autogenons arterial cuff 및 microfibrillar collagen cuff⁸⁾, absorbable polymer poly-galactin^{9,10)} 등의 anastomotic device들이 미세혈관 문합에 사용되었다.

1978년 Lauritzen¹¹⁾은 근위부 혈관 외막에 suture를 혈관벽을 관통하지 않게 시행하여 원위부 혈관 내부로 함입시키는 sleeve method를 사용하여 100%의 개존율을 보고하였고, Mayer 등은 근위부 말단을 관통하는 guide suture를 사용하여 원위

부 혈관 내부로 함입시키는 방법으로 80%, Sully 등은 Mayer의 방법에 2개의 외막봉합을 추가하여 84%¹²⁾, Hyland 등은 Lauritzen 방법에 Mayer식 함입 봉합 1개를 traction suture로 병행하여 90%의 개존율을 보고하였다¹³⁾.

조직접착제를 사용한 혈관문합술로는 1964년 Hosbein¹⁴⁾ 등이 개의 경동맥에서 혈관 말단을 함입시킨후 methyl-2-cyano acrylate monomer에 적신 근막으로 혈관을 접착시켰으며 미세혈관 문합술에서의 fibrin 사용은 1977년 Matras¹⁵⁾ 등이 동맥의 단단문합술에 fibrin glue를 사용한 결과를 보고하였다.

현재 성형외과 영역에서 미세혈관 수술이 보편화되면서 통상 술기로 사용되고 있는 단순봉합에 의한 봉합사를 사용한 단단문합술이 가장 널리 이용되고 있으나¹⁶⁻²⁰⁾ 조각이 복잡하며, 문합에 소요되는 시간이 길고 봉합사는 혈관벽에 손상을 주므로 혈전 유발물질로 작용하여 가능한한 봉합수를 줄이기 위해 많은 방법들이 시도되고 있다²¹⁻²⁴⁾.

저자들은 이러한 문제점을 해결하고자 레이저를 이용하여 미세혈관 문합을 시도하였는데 Laser는 Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation(유도방출에 의한 빛의 증폭)의 머릿문자를 맞추어 만들어진 단어로 1960년 Maiman에 의해 명명되었다²⁵⁻²⁷⁾. 레이저광선은 자연계에 존재하지 않는 인공광선으로서, 빛을 증폭해서 집광렌즈를 통해 한 점에 빛 에너지를 집중시켜서 에너지를 극대화한 광선이다²⁶⁻²⁸⁾.

레이저광선은 파장을 가지므로 광선의 특징과 레이저 자체의 특징을 모두 갖고 있다. 즉 광선으로서 파와 양자의 특징을 가지며, 레이저의 단색성 지향성 및 저 개산 등의 특징을 가지고 있다²⁶⁻²⁸⁾.

레이저 광선은 흡수되어 열로 전환되고, 이 열이 진피층에서 매우 선택적으로 응고 혹은 기화를 유발하게 된다¹⁵⁻¹⁸⁾. 피부에 있어서는 주위의 한선과 모낭같은 진피부속물은 비교적 레이저광선을 흡수하지 않으므로 빠른 상처 치유와 상피재생을 도와주고 레이저 치료후의 조직학적 소견은 지속적으로 안정성이 있어 조직의 계속되는 변화는 생기지 않는다.

문헌적으로 혈관의 레이저 문합에 이용된 레이

저의 종류 및 용량을 보면, CO₂ laser는 90-100mW의 용량과 0.2sec 노출시간으로 시행된 경우와³⁰⁾ 20-30mW의 용량으로 0.13sec 노출시켰으며³²⁾, THC:YAG laser의 경우는 50mW의 용량으로 0.2sec 노출시켰으며³²⁾, Nd:YAG laser의 경우는 동맥에서는 17 watt의 용량으로, 정맥에서는 6 watt의 용량으로 0.05sec의 노출시간으로 사용된 경우³³⁾ 등이 보고되고 있으며, 기타 다른 방법들도 보고되고 있다³⁴⁻³⁶⁾.

이러한 용량의 차이는 각각의 레이저 종류에 따른 투과 깊이의 차이에 기인하는데, Nd:YAG와 Argon laser가 가장 높은 투과 깊이를 나타내며 다음이 THC:YAG와 CO₂ laser순으로 알려져 있다.

저자들은 혈관문합을 위하여 SLT사의 Nd:YAG contact laser system을 이용하였는데, contact delivery system은 non contact system에 비하여 후부반사를 통한 손실이 5% 대 45%로 적어, 원하는 용량을 충분히 접촉면에 전달시킬 수 있으며, 또한 laser의 사용시 형성되어지는 3층 구조 (Zone of necrosis, Zone of coagulation, Zone of denaturation) 중 문합에 불필요한 Zone of necrosis의 깊이를 약 반 정도로 감소시키는 효과가 있다고 한다³³⁾.

레이저의 혈관문합기전은 조직의 용접에 의하는 것으로 알려졌는데, 이것은 laser tip이 밀착된 부위의 열의 전도에 의해 fibrin clotting system의 강화, 변성된 collagen 섬유와의 융합과 수축에 의한다고 설명되어진다²⁶⁻³³⁾.

저자들은 1차 문합 완료후의 틈새는 원위부의 clamp를 일시적으로 풀어, 원위부로부터 역류된 혈액이 문합부위의 혈관표면을 덮은 후, 레이저문합을 시행하는 blood-bonded-technique을 이용하였는데, 이는 문합부위의 표면에 fibrin cross linkage를 야기시켜 문합을 쉽고, 보다 튼튼하게 하는 것으로 알려져 있다^{33,37)}.

문헌적으로 이 방법을 사용한 경우에 술후 직후에는 강도(bursting strength)가 단순한 레이저 문합법은 279mmHg인데 비해, blood-bonded-technique은 746mmHg로 월등한 강도를 나타낸다고 한다³⁷⁾.

이외에도 문합부위를 강화시키는 방법으로 muscle-bonded-technique이 있는데, 이 방법은 인

접부위의 근육에서 채취한 절편을 문합부위에 놓은 후 레이저를 이용해 용접하는 것으로서, 위에서 기술한 blood-bonded-technique과 유사한 결과를 나타낸다고 한다³⁷⁾.

레이저문합의 장점으로는 (1) 문합시간의 단축³⁰⁻³⁴⁾, (2) 이물 반응의 감소^{31,34,38)}, (3) 치유시간의 단축³¹⁾, (4) 봉침으로 인한 혈관손상의 방지³⁸⁾, (5) 성장혈관에서의 섬유화의 감소²⁸⁾, (6) 0.5mm 이하 내경의 혈관에서의 시행 가능성³³⁾ 및 (7) 단순봉합과 동일한 혈관개존율이³⁰⁻³²⁾ 알려져 있다.

반면에 단점으로 알려진 것들로는, 동맥류의 형성과 문합부위의 강도(strength)의 약화를, 이중 동맥류의 형성은 평균 내경의 1.5배 이상 확장된 경우로 정의하고 있으며²²⁾, 이는 아마도 혈관 내막의 열손상 및 문합부위의 낮은 인장강도에 기인하리라 생각되며^{30,32,38)}, 보통 문합후 1주 경부터 시작되어, 8주까지 증가된다고 보고되고 있으며^{38,39)}, 발생빈도는 문헌에 따라 0-36%로 보고되고 있다^{30,32)}.

동맥류는 내막의 연결을 정확히 하며, 외막의 박리를 줄임으로써 감소시킬 수 있다^{34,35)}. 문합부위의 약화는 단순봉합과 비교해서 약 50%의 강도를 나타내지만, 평균적으로 400mmHg 정도까지의 내압은 견디므로, 임상적으로는 이용 가능하다고 한다^{31,32,40)}.

레이저 문합후의 조직학적 변화는 문헌적 고찰에 따르면, 육안적으로는 혈관 외형의 약간의 변형과 건화 및 색소화를 문합부위로부터 0.5mm 폭으로 보여주었으나, 탄화현상은 나타나지 않았다^{31,38,41,42)}.

조직학적으로는 레이저 문합 직후에는 외막에 있어서는 결체조직섬유의 변형, 공포화 및 섬유간격의 분리현상이 관찰되었으며^{32,39,43,44)}, 중막의 조기 괴사 및 변성이 발견되었고^{44,45)}, 내막에 있어서는 변성이 관찰된 경우와 없는 경우가 동일 비율로 나타내었다^{30,31,47,48)}.

술후 1주군에 있어서는 외막 및 중막의 변성화 및 내막의 재 내피화가 관찰되었는데^{30,49,50)}, 단순 봉합군과 비교하여 조기에 섬유아 세포의 출현 및 재내피화가^{31,32,51,52)} 관찰되었고, 훨씬 경한 정도의 염증반응 및 육아 조직 형성 소견을 보여주었다^{31,42,53,54)}.

결 론

새로운 미세혈관 문합술의 시도로 절단된 혈관에 3개의 고정봉합을 120도 각도로 시행후 Nd: YAG contact laser를 사용하여 혈관벽을 용접(welding) 시키는 문합방법으로 단순봉합술과 비교한 결과는 다음과 같다.

1) 술후 혈관개존율은 술 직후에는 단순봉합군에서 동맥이 100%, 정맥이 75%이었으며 레이저 문합군은 동맥이 85%, 정맥이 75%이었으며 술후 4주째 단순봉합군은 동맥이 90% 정맥이 75%, 레이저문합군은 동맥이 82.5% 정맥이 75%로 혈관개존율에 있어서 높은 성공율을 보였다.

2) 문합소요시간은 단순봉합군에서는 동맥은 평균 20분 28초 정맥은 평균 27분 29초이었고 레이저문합군은 동맥은 평균 14분 5초, 정맥은 평균 18분 34초로 레이저 문합군이 소요시간이 적게 걸렸다($P < 0.01$).

3) 동맥류형성은 술후 4주째까지 발견되지 않았으며 수후 4주째 단순봉합한 경우 동맥에서 5%(2개) 정맥에서 10%(4개) 발생하였으며 레이저 문합의 동맥에서 5%(2개)와 정맥에서 15%(6개)에서 발생하여 동맥류의 형성은 두 방법 다 유사히 저조하였다.

4) 레이저문합군에서는 혈관내막이 문합 후 1주일에 신생막의 형성으로 완전히 연결되었다.

5) 레이저문합군에서는 단순봉합군에서 관찰된 혈관 내피세포의 비후나 증식은 없었으며 이물반응 및 부분적 괴사는 외막에 한정되어 있었다.

REFERENCES

- Blakemore, A.H., Lord, J.W. : *Restoration of blood flow in damaged arteries. Further studies on a nonsuture method of blood vessel anastomosis.* *Ann. Surg.*, 117 : 481, 1943.
- Androsov, P.I. : *New method of surgical treatment of blood vessel lesions.* *Arch. Surg.*, 73 : 902, 1956.
- Inokuchi, K. : *A new type of vessel suturing apparatus.* *Arch. Surg.*, 77 : 954, 1958.
- Nakayama, K., Tamiya, T. : *A simple new apparatus for small vessel anastomosis (free autograft of the sigmoid included).* *Surg.*, 52 : 918, 1962.
- Haller, J.D., Kripke, D.C. : *Long term results of small vessel anastomosis with a ring technique.* *Ann. Surg.*, 161 : 67, 1965.
- McLean, D.H., Buncke, H.J. : *Use of the saran wrap cuff in microsurgical arterial repair.* *Plast. Reconstr. Surg.*, 51 : 624, 1973.
- Nomoto, H., Buncke, H.J., Chalder, N.L. : *Improved patency rate in microvascular surgery when using magnesium sulfate and a silicone rubber vascular cuff.* *Plast. Reconstr. Surg.*, 54 : 157, 1974.
- Harris, G.D., Finseth, F., Buncke, J.H. : *The microvascular autogenous cuff.* *Br. J. Plast. Surg.*, 34 : 50, 1981.
- Daniel, R.L., Olding M. : *An absorbable anastomotic device for microvascular surgery; Experimental studies.* *Plast. Reconstr. Surg.*, 74 : 329, 1984.
- Daniel, R.L., Olding, M. : *An absorbable anastomotic device for microvascular surgery; clinical application.* *Plast. Reconstr. Surg.*, 74 : 337, 1984.
- Lauritzen, C. : *A new and easier way to anastomosis micro vessels.* *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.*, 12 : 291, 1978.
- Sully, L., Nightingale, G., O'Brien, B.M., Hurley, J.V. : *The sleeve technique in microarterial anastomosis.* *Plast. Reconstr. Surg.*, 70 : 2, 1982.
- Hyland, W., Botens, S.R., Minami, J.S. : *A reappraisal and modification of the Lauritzen technique of microvascular anastomosis.* *Br. J. Plast. Surg.*, 34 : 451, 1981.
- Hosbein, D.J., blumenstock, D.A. : *Anastomosis of small arteries using a tissue adhesive, Surgery, Gynecology and obstetrics*, pp. 112-14, 1964.
- Carroni, E.P. : *Craniofacial surgery, 1st ed, Boston, Little, Brown and Co., 1985, pp. 33-41.*
- Cormack, G.C., Lamberty, B.G. : *The arterial anatomy of skin flaps. 1st ed, Edinburgh, Churchill Livingstone, 1986, pp. 15-63.*
- Riedinger, D., Ehrenfeld, M. : *Microsurgical tissue transplantation. 1st ed, Chicago, Quintessence Pub. Co., 1989, pp. 199-233.*
- Georgiade, N.G., Georgiade, G.S. : *Textbook of plastic, maxillofacial, and reconstructive surgery. 2nd ed, Baltimore, Williams & Wilkins, 1992, pp. 115-125.*
- Rutherford, R.B. : *Vascular surgery. 3rd ed, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1989, pp. 287-540.*
- Dudley, H., Deweese, J.A. : *Operative surgery. 4th ed, St Lewis, CV Mosby Co., 1985, pp. 1-69.*
- Manktelow, R.T. : *Microvascular reconstruction. 1st*

- ed, Berlin, Springer-Verlag, 1986, pp. 85-87.
22. Urbaniak, J.R. : *Microsurgery for major limb reconstruction*. 1st ed, St Lewis, CV Mosby Co., 1987, pp. 2-21.
 23. Show, W.W., Hidalgo, D.A. : *Microsurgery in trauma*. 1st ed, New York, Futura Pub. Co., 1987, pp. 3-70.
 24. Pho, W.H. : *Microsurgical technique in orthopedics*. 1st ed, London, Butterworth Co., 1988, pp. 1-20.
 25. Lee, S. : *Experimental microsurgery*. 1st ed, New York, Igaku-Shoin, 1987, pp. 40-75.
 26. Smith, J.W. : *Plastic surgery*, 4th edition. Boston, Little, Brown and Co, 1991, pp. 779-804.
 27. McCarthy, J.G. : *Plastic Surgery*, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1990, pp. 3663-3673.
 28. Marsh, J.L. : *Current therapy in Plastic and reconstructive surgery*, Toronto, B.C. Decker, 1989, pp. 41-45.
 29. Habal, M.B. : *Advances in Plastic and reconstructive surgery Vol. 2. Year Book medical publishers*, 1986, pp. 147-190.
 30. Vale, B.H., Frenkel, A., Trenka-Bonthin, S., Matlaga, B.F. : *Microsurgical anastomosis of rat carotid arteries with the CO₂ laser*. *Plastic and Reconstr. Surg.*, 77 : 759-766, 1986.
 31. Kiyoshige, T., Tsuchida, H., Hamasaki, M., Takayanagi, M., Watanabe, Y. : *CO₂ laser assisted microvascular anastomosis ; biochemical studies and clinical applications*. *Journal of Reconstr. Microsurg.*, 7 : 225-230, 1991.
 32. Lawrence, S.B., Treat, M.R., Dzakonski, C., Trockel, S.L. : *Sutureless microvascular anastomosis using the THC : YAG laser ; a preliminary report*. *Microsurgery*, 10 : 189-193, 1989.
 33. Jain, K.K., Gorisch, W. : *Repair of small blood vessels with the Neodymium YAG laser ; a preliminary report*. *Surgery*, June : 684-688, 1979.
 34. Abramson D.L., Shaw, W.W., Kamat, B.R., Harper, A., Rosenbery, C.R. : *Laser-assisted venous anastomosis ; a comparison study*, *Journal of reconstructive microsurgery*, 7 : 199-204, 1991.
 35. Ruiz-Razura, A., Lan, M., Cohen, B.E. : *The laser assisted end to side microvascular anastomosis*. *Plast. Reconstr. Surg.*, 83 : 511-517, 1989.
 36. Ruiz-Razura, A., Wiener, T.C. : *CO₂ laser assisted microvascular anastomosis ; biochemical studies and clinical applications*. *Invited discussion*. *Journal of Reconstr. Microsurg.*, 7 : 231-232, 1991.
 37. Wand, S., Grubbs, P.E., Cunningham, J.N. : *Effect of blood bonding on bursting strength of laser assisted micro vascular anastomosis*. *Microsurg.*, 9 : 10-13, 1988.
 38. Jacobowitz, I.J., Wang, S., Cunningham, J.N. : *Influences of laser pulse duration and anastomotic disruption on laser assisted microvascular anastomosis*. *Microsurgery*, 11 : 85-90, 1990.
 39. Ammirati, M., Ciric, I., Rabin, E. : *Induction of experimental aneurysms on the rat common carotid artery using a microsurgical. CO₂ laser*, *Microsurg.*, 9 : 78-81, 1988.
 40. Flemming, A.F.S., Bown, S.G., Colles, M.J., Brongh, M.D. : *Comparason of laser-assisted and conventionally sutured microvascular anastomosis by bursting pressure ; a reanalysis and future studies*. *Microsurg.*, 11 : 25-33, 1990.
 41. Neblett, C.R., Morris, J.R., Thomson, S. : *Laser assisted microsurgical anastomosis*. *Neurosurg.*, 19 : 914, 1986.
 42. Jain, K.K. : *Sutureless end to side microvascular anastomosis using Neodymium-YAG laser*. *Vascular Surgery*, PP. 240-243, 1983.
 43. Bailes, J., Quigley, M.R., Brown, J.T. : *Fibrinolytic activity following laser assisted vascular anastomosis*. *Microsurg.*, 6 : 163-168, 1985.
 44. Burger, R.A., Gerherz, C.D., Rothe, H., Engelmann, U.H., Hohenfellner, R. : *CO₂ and Nd:YAG laser systems in microsurgical venous anastomosis (Abstr.)*. *Urol-Res*, 19 (4), 253-257, 1991.
 45. Alefelder, J., Philipp, J., Engelmann, U.H., Senge, T. : *Stented-laser-elled vasovasostomy in the rat ; comparison of Nd:YAG and CO₂ lasers (Abstr.)*. *Jour. Reconstr. Microsurg.*, Oct ; 7 : 317-320, 1991.
 46. Berengoltz-Zlochyn, S.N., Rienks, R., Smiths, P.C. : *Nd:YAG laser assisted angioplasty in femoropopliteal artery occlusions (Abstr.)*. *Radiology*, 182 (2) ; 409-414, 1992.
 47. Kuroyanagi, Y., Taguchi, M., Yano, T., Tones, D.N., Shionoya, S. : *Argon Laser-assisted anastomosis in medium size vessels ; one year follow up*. *Laser in surgery and Medicine*, 11 : 223-231, 1991.
 48. Kim, Y.S.L., Day, A.L., Mehta, J.L. : *The argon contact laser scalpel (Abstr.)*. *Neurosurg.*, 21 : 861-866, 1987.
 49. Maxwell, G.P., Szabo, A., Buncke, H.J. : *Aneurysms after Microvascular anastomoses*. *Plast. Reconstr. Surg.*, 63 : 824, 1979.
 50. Harashina, T., Fujino, T., Watanabe, S. : *The intimal healing of Microvascular anastomoses*. *Plast. Reconstr. Surg.*, 58 : 608, 1976.
 51. Flemming, A.F.S., Colles, M.J., Guillianotti, R. :

- Laser assisted microvascular arteries of arteries and veins : Laser tissur welding. Br. J. Plast. Surg., 41 : 378, 1988.*
52. Geter, R.K., Winters, R.W., Puckett, C.L. : *Resolution of experimental microvascular spasm and improvement in anastomotic patency by direct topical agent application. Plast. Reconstr. Surg., 77 : 105, 1986.*
53. Petry, J.J., French, T.S., Wortham, K.A. : *The effect of the patency test on arterial endothelial surface. Plast. Reconstr. Surg., 77 : 960, 1986.*
54. Milward, T., Rayner, C.R.W. : *A method for studying endothelial regeneration in small vessels. Plast. Reconstr. Surg., 58 : 490, 1976.*
-