

## 재관류손상을 받은 가토의 이개 피판에서 레이저도플러에 의한 피판 생존의 예측

김석권<sup>1</sup> · 박정민<sup>1</sup> · 백창윤<sup>1</sup> · 정기환<sup>1</sup> · 이근철<sup>1</sup> · 정진숙<sup>2</sup> · 박주인<sup>3</sup> · 박병호<sup>4</sup>

동아대학교 의과대학 성형외과학교실<sup>1</sup>, 병리과학교실<sup>2</sup>, 생화학교실<sup>3</sup>, 진단방사선과학교실<sup>4</sup>

### The Predictive Value of Laser Doppler for Flap Survival

Seok Kwun Kim, M.D., Ph.D.<sup>1</sup>, Jung Min Park, M.D., Ph.D.<sup>1</sup>,  
Chang Yoon Baek, M.D.<sup>1</sup>, Gi Hwan Jung, M.D.<sup>1</sup>,  
Keun Cheol Lee, M.D., Ph.D.<sup>1</sup>, Jin Suk Jung, M.D., Ph.D.<sup>2</sup>,  
Ju In Park, M.D., Ph.D.<sup>3</sup>, Byung Ho Park, M.D., Ph.D.<sup>4</sup>

Department of <sup>1</sup>Plastic and Reconstructive Surgery, <sup>2</sup>Pathology,  
<sup>3</sup>Biochemistry, <sup>4</sup>Diagnostic Radiology, College of Medicine,  
Dong-A University, Busan, Korea

If we could predict the necrosis of the flap caused by reperfusion injury, we can minimize the necrosis of the flap by taking appropriate action before necrosis begins. In this study, we examined whether we can predict the survival of flap under reperfusion injury or not, by measuring laser doppler flow meter values.

We divided the group into the control and experimental groups corresponding to 6, 8, 9, 10, and 12 hours after reperfusion (hours after ligation of auricular central artery). In each group, we examined necrotic change, perfusion unit (PU), serum superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase, angiography and pathologic findings. No necrosis was observed in the 6 and 8 hours group but 8, 18, 20 hours after ligation, necrosis was observed. Also in each of 9, 10 and 12 hours group (each group consisted of 20 flaps), necrosis were noted. According to the above data, the critical time of necrosis in the auricular skin flap model lies between about 8 to 9 hours. Comparing the PU between the necrosis and non-necrosis groups, the former group showed a mean 39.57 PU increase after 60 min of reperfusion, and the latter group showed a mean increase of 21.21 PU.

We can conclude that better flow can dilute oxygen free radical into systemic circulation, and this means less injuries are caused on vessels. Our study implies that if blood flow increase is less than 30 PU, intensive

care is needed to save the flap.

Additionally, we found significant decrease of serum SOD and glutathione peroxidase in the necrotic group. Therefore, monitoring these serum markers will be helpful in predicting reperfusion injury and supplementing these enzymes could be helpful to save the flap. The laser doppler flow meter is thought to be helpful in clinical circumstances for evaluating the circulation of the flap after the operation. However, more accumulation of clinical studies should be necessary establishing useful clinical data.

**Key Words:** Reperfusion injury, Laser doppler flowmeter value, Perfusion unit, Superoxide dismutase, Glutathione peroxidase

### 1. 서 론

미세혈관수술의 성공률은 80%에서 95%에 이르고 있지만, 혈관의 문제로 인한 피판의 손실은 여전히 미세혈관수술의 심각한 합병증으로 남아 있다. 미세혈관수술 후 재수술률이 4-25%로 보고되고 있고<sup>1</sup> 재수술로 혈관의 재개통이 이루어진 이후에서 비관류 현상(no reflow phenomenon)으로 피판의 손실이 발생되기도 한다. 이 현상의 원인은 유리 산소기에 의한 혈관손상이라고 알려져 있다. 성형외과 영역에서도 재관류손상을 예측할 수 있다면, 미세수술 후 재관류손상에 의한 피판의 손실을 구제하는데 도움이 될 것이다.

임상에서 재관류손상은 대개 혈관 폐색 이후 6시간에서 12시간 사이에 다시 관류되었을 때 발생하는 것으로 알려져 있는데 본 실험에서는 가토의 이개피판을 재료로 하여 혈관경의 폐색 후부터 재관류가 이루어지는 시간을 달리하여 발생하는 피판괴사의 범위를 관찰하였고, 재관류가 이루어진 시간에 따른 레이저 도플러 수치의 변화로 재관류손상 시 피판 괴사의 예측이 가능한가를 알아보고자 하였다.

또한 실험의 객관적 증명을 위하여 혈관촬영술을 통하여 피사군에서 미세동정맥 수준의 재관류손상을 의심할 만한 병변이 존재하는지를 알아보고자 하였고, 재관류손상이 많은 군에서 괴사가 더 넓게 생긴다고 가정하고, 재관류손상이 많은 군에서 유리 산소기의 생성 또한 정량적

Received March 17, 2005

Revised May 26, 2005

**Address Correspondence:** Jung Min Park, M.D., Ph.D., Department of Plastic & Reconstructive Surgery, College of Medicine, Dong-A University, #1, 3ga, Dongdaesin-dong, Seo-gu, Busan 602-715, Korea. Tel: 051) 240-5416 / Fax: 051) 243-5416 / E-mail: jmpark@dounet.donga.ac.kr

으로 높게 나타날 것이라고 예측하였다. 따라서 유리 산소기 발생의 정량적 분석을 위하여 중심동정맥을 6시간 결찰 후 재관류시킨 군과 12시간 결찰 후 재관류시킨군에서 산소유리기 제거제인 과산화 디스무타제(superoxide dismutase)와 글루타치온 과산화효소(glutathione peroxidase)의 양을 비교함으로써 재관류손상에 의한 피관괴사를 간접적으로 증명하고자 하였다.

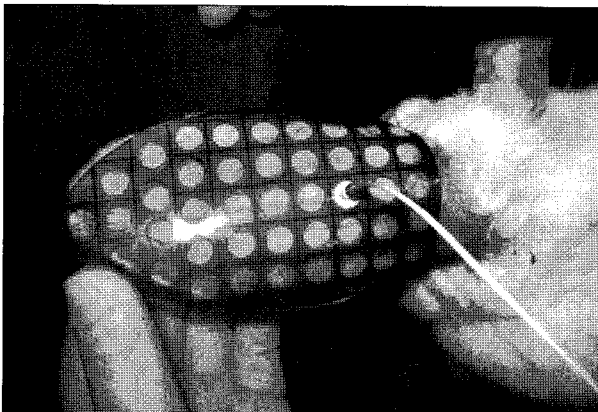
## II. 재료 및 방법

### 가. 재료 및 마취방법

실험동물로는 체중 2.5-3.0 kg의 New Zealand white rabbit 수컷 60마리에서 귀 120개를 실험재료로 사용하였다. 사용된 레이저 도플러 흐름측정기(laser doppler flowmeter)는 Periflux 4001 Master<sup>®</sup>(Perimed사, Sweden)를 이용하였고 장비에 연결되는 소식자의 종류에 따라 수치는 차이가 날 수 있으므로 부착하기 용이한 일정한 형태의 소식자(small straight probe, 407-1 모델)를 사용하였다. 실험실의 환경은 평균 18°C, 습도 45%로 실내 공기의 대류를 최소한으로 하기 위해서 환풍기를 끄고 창문을 닫았다. 마취는 Ketamine(케타민<sup>®</sup>, 유한양행) 50 mg/kg과 xylazine hydrochloride(Rumpun<sup>®</sup>, 바이엘코리아) 1 mg/kg을 대퇴부에 근육 주사하였다.

### 나. 레이저 도플러를 이용한 피관 혈류량의 측정

피관혈류량의 측정은 피관 전체를 크기 1 × 1 cm의 구획으로 나누어 구분한 다음 각각의 구획을 내측에서 외측으로 A, B, C, D, E로 하고 혈관경을 기준으로 근위부에서 원위부로 1부터 9까지로 좌표를 만들었다. 그리고 구획의



**Fig. 1.** The estimation of blood flow with laser doppler before ligation. The blood flow was estimated with laser doppler before ligation of central artery. The ear flap was divided into 1 × 1 cm sized compartments.

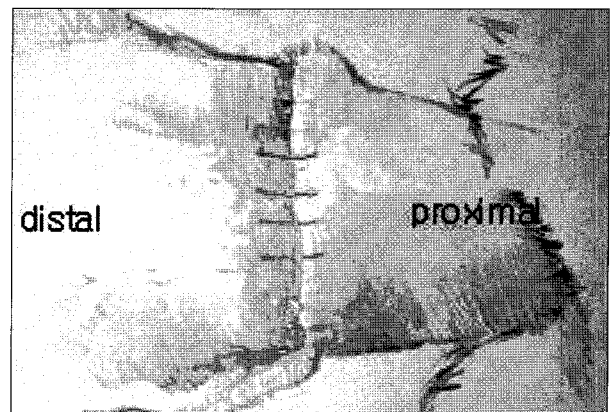
중앙값을 구획 대표값으로 측정하였다. 이를 편리하게 측정하기 위해 크기 9 × 5 cm의 이개 모양의 틀(Fig. 1)을 만들고 크기 1 × 1 cm의 구획 안에 레이저 도플러 소식자가 꼭 끼일 수 있도록 제작함으로써 레이저 광선이 피부에 정확히 직각으로 유지되도록 하고 주위 진동으로 인해 소식자의 줄이 영향을 받지 않도록 하였다. 한편, 제작된 틀을 피관의 모퉁이에 5-0 실크 봉합사로 고정하고 피관을 만들어 혈류량을 측정하였다. 측정 시점은 혈관경의 폐색 직전, 재관류 직전, 재관류 후 15분, 30분, 60분, 90분, 120분, 180분으로 하였다.

### 다. 이개피관의 작성과 혈관의 폐색

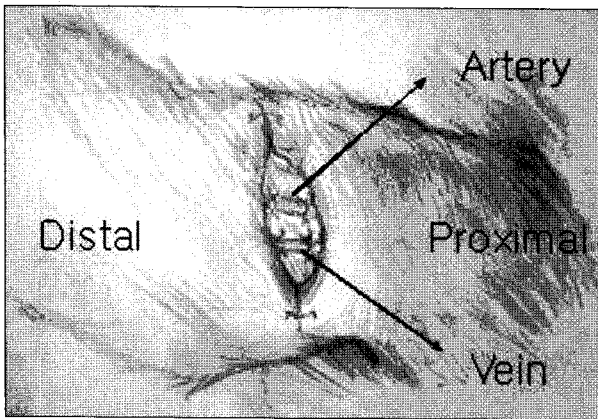
가토의 귀는 대개 15 × 5 cm의 크기에 전방 및 후방 변연 동정맥과 중심 동정맥이 존재한다. 마취 후 토끼 귀의 털을 면도하여 털로 인한 레이저 도플러 소식자(probe)와 피부사이의 공간이 발생 안되도록 하였다. 먼저 이개 피관의 작도는 귀의 꼭지가 피관의 끝이 되게 하고 이로부터 거리가 10 cm되는 지점이 피관의 기저가 되게 도안하였으며 기저의 중앙부에 위치한 이개중심혈관에서 동맥과 정맥을 따로 분리하여 결찰한 후 절단할 수 있도록 중심혈관을 노출시켰다(Fig. 2). 이후 이개 중심혈관을 제외한 모든 혈류를 차단하기 위해 피부 및 연골을 포함한 모든 이개 조직을 피관 기저 수준에서 절단하였다. 절단 후 피관의 고정을 위해 단속 수직 석상봉합으로 연골을 포함한 이개 피관을 고정하였고 끝으로 중심혈관을 결찰한 후 절단하였으며 노출된 창상도 봉합하였다(Fig. 3).

### 라. 재관류의 유도과 재관류 시점에 따른 실험군의 분류

재관류를 유도 하기위해 이개 중심동정맥의 결찰부를



**Fig. 2.** Formation of auricular flap model. Auricular flap model was made by amputation of the auricle at 10 cm proximal from the auricular tip and preservation of the auricular central artery and vein. The amputated auricle was resutured to the original site but central vessels were exposed.



**Fig. 3.** Reposition of the amputated auricle after ligation cutting of auricular central vessels. Erythematous and cyanotic feature was noted after ligation and cutting of the central vessels.

절제하고 혈관내 혈전을 제거한 후 10-0 나일론 봉합사로 혈관문합을 실시하였다. 혈관경의 폐색 직후부터 재관류가 이루어지기까지의 시간이 0, 6, 8, 9, 10, 12 시간이 되도록 각 군을 G0, G1, G2, G3, G4, G5로 나누었고, G0군은 대조군으로 혈관을 결찰하지 않은 군이며, 이들 군에서 이개 피관의 괴사상태를 관찰하였다.

**마. 피관괴사의 평가**

피관의 괴사가 재관류손상에 의한 것인지를 판별하기 위해서 다음과 같은 검사로 그 재관류손상을 평가하였다.

- 1) 혈관조영술: 대조군을 포함하여 각각의 군마다 2례씩 12개의 피관에서 혈관조영술로 재관류손상에 의한 혈관손상을 평가하였다. 재관류손상의 시작은 말초부위의 미세한 동정맥의 혈관에서 시작되므로 혈관의 폐색 정도를 평가할 수 있고, 보다 근위부의 큰 혈관의 폐색은 보다 넓은 범위의 괴사를 일으킬 것으로 기대했다.
- 2) SOD와 Glutathione peroxidase의 측정: 생성된 유리산소기의 상대적 비교를 위해 6시간과 12시간 결찰군에서 가토의 혈액을 결찰을 푼 2시간 후에 채취하여 원심분리한 뒤 상층액은 제거하고 하층액을 모아 SOD-525 Assay Kit와 GPx-340 Assay Kit(Bioxytech®)를 이용하여 생성된 유리기를 간접적 방법을 통해 정량적으로 측정하였다. 즉, 재관류손상에서 증가하는 유리산소기 대신 유리기제거제(scavenger)인 과산화 디스뮤타제와 글루타치온 과산화효소를 흡광도를 이용해 측정하여 각 시간군별로 관찰하였다.
- 3) 조직검사: 피관의 괴사부위에서 조직검사를 시행하여 최종적으로 발생하는 괴사를 육안과 광학현미경으로 평가하였다. 재관류손상은 혈관의 내피손상(intimal damage)으로부터 시작되며, 혈소판이 혈관 내벽에 유착되면서 혈

전을 형성하고 여러 종류의 세포가 혈전내로 침윤하는 소견 등을 예상하였다. 이러한 예상되는 조직소견의 범위는 재관류손상의 정도와 상관관계를 가질 것으로 예상하였다.

즉 피관의 재관류 후 레이저 도플러의 수치의 변화가 유의 있게 변화한 부위가 결국 수일 후 괴사로 이어지는 지를 관찰하였다. 이때 그 괴사의 시작이 재관류손상에 의한 것인지 단순한 혈전의 이동에 의한 것인지 감별이 필요하다고 판단되어 괴사된 부위를 중심으로 혈관손상의 정도를 평가하고 아울러 호중구(neutrophil)들이 혈관의 내피손상을 일으키는지를 살펴보았다. 또한 피관괴사의 범위 및 재관류손상의 정도와 병리적 괴사의 범위 사이, 그리고 레이저 도플러의 유의한 수치 변화와 병리적 괴사의 진행 사이에 상관관계가 있는 지를 알아보려고 하였다.

**바. 통계처리**

재관류손상 전후에 측정된 레이저 도플러 값의 변화를 구획별로 통계 처리한 다음 괴사된 군과 비교하여 도플러 값의 변화와 괴사간의 상관관계가 통계적으로 유의한지 알아보았다(SPSS 사용).

또한 결찰시간과 괴사정도와와의 상관관계와, 6시간과 12시간 결찰군 간의 과산화 디스뮤타제와 글루타치온 과산화효소의 정량적 비교도 통계적 유의성이 있는 지 조사하였다(SAS, CMH사용). 모든 실험의 결과는 평균치±표준편차로 표시하였고,  $p < 0.05$ 에서 유의성을 검정하였다.

**III. 결 과**

**가. 허혈시간에 따른 괴사율**

대조군과 결찰 후 재관류 6시간(G1)과, 8시간 군(G2) 각 20개의 피관에서는 괴사가 없었다. 재관류 9시간 군(G3)에서는 20개의 피관 중 8개에서 부분적 괴사가 있었고 피관 괴사 면적은 평균 17.2 cm<sup>2</sup> 크기로 40%의 괴사율을 보였으며, 재관류 10시간 군(G4) 20개의 피관에서는 8개의 부분적 괴사와 10개의 전체괴사가 발생하여 90%의 괴사율을 보였고 피관 괴사 면적은 평균 35.6 cm<sup>2</sup> 크기로 관찰되었다. 재관류 12시간 군(G5)에서는 방사선학적 검사 중 조영제 쇼크로 사망한 1개체를 포함하여 20개 피관 모두 피관 전체의 괴사를 관찰할 수 있었다. 따라서 결찰 시간과 괴사정도와의 관계는 결찰 시간이 긴 군에서 괴사가 현저히 많이 진행되어 통계적 유의성이 있었다(Table 1).

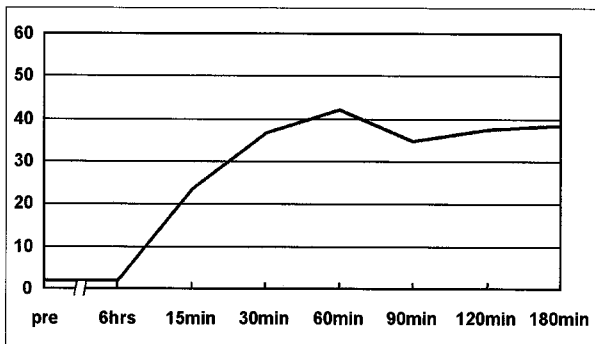
**나. 허혈시간에 따른 레이저 도플러 흐름측정기의 결과**

대조군을 제외한 모든 군에서 허혈시간이 길수록 perfusion unit(이하 PU) 수치의 감소를 보였고, G1에서 G4군까지는 재관류 직후 현저한 감소를 보였다가 재관류 후 15

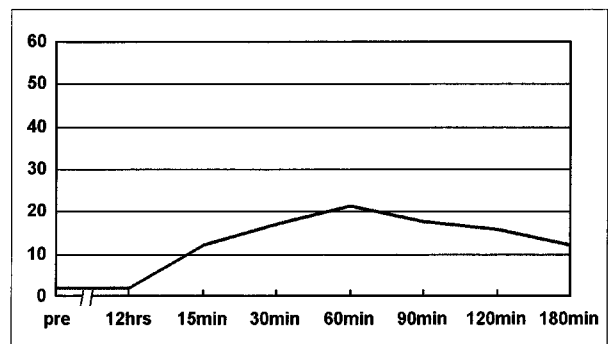
**Table I.** The Correlation between Duration of Pedicle Ligation and Necrosis.

	Non necrosis(No.)	Partial necrosis(No.)	Total necrosis(No.)
G1	20		
G2	20		
G3*	12	8	
G4*	2	8	10
G5*			20

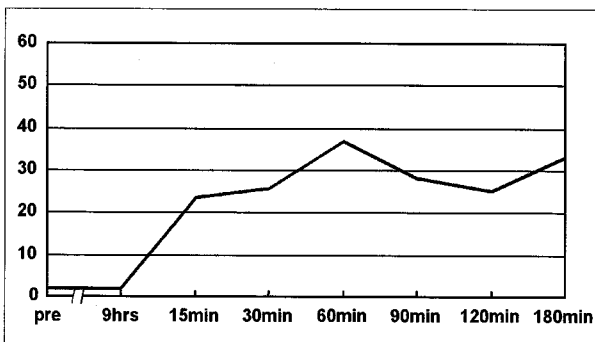
No.: number of case, G1: reperfusion group after 6 hours ligation, G2: reperfusion group after 8 hours ligation, G3: reperfusion group after 9 hours ligation, G4: reperfusion group after 10 hours ligation, G5: reperfusion group after 12 hours ligation.  
\*p<0.05.



**Fig. 4.** Mean doppler flow in reperfusion group 1. In the reperfusion groups after 6 hours ligation, the temporary decrease of blood flow was noted after 1hour of reperfusion, but the flow was increased gradually upto the initial level.



**Fig. 6.** Mean doppler flow in reperfusion group 5. The blood flow was decreased steadily after reperfusion, and the flow was not increased more than 20PU.



**Fig. 5.** Mean doppler flow in reperfusion group 3 without flap necrosis. Temporary decrease of blood flow was noted after reperfusion. However, the flow was increased gradually.

분과 30분 그리고 60분에서 증가를 보였으며 증가한 기울기는 허혈시간과 반비례하는 상관관계를 보였다. 한편 증가된 PU 수치는 재관류 후 90분, 120분, 180분에서 감소 혹은 증가를 보였는데, 6시간과 8시간 결찰 후 재관류시킨 군(G1, G2)에서는 경한 감소 후 증가를 보여 재관류 손상 후 혈행이 일시적인 감소를 보였다가 다시 증가하는 양상을 보였고, 9시간, 10시간 결찰 후 재관류시킨 군(G3, G4)에서는 PU 수치의 지속적인 감소를 보이거나 감소 후 다

시 증가하는 양상을 보여, 재관류손상 후 혈행이 일시적인 감소를 보였다가 피사가 진행된 경우에는 지속적인 감소가 보이고 피사가 없는 경우에는 다시 증가하는 두가지 양상을 보였다. 재관류 12시간 군(G5)에서는 재관류 후 15분과 30분 그리고 60분에서 PU 수치는 낮은 기울기의 증가를 보였다가 90분, 120분, 180분에서 계속 감소하는 양상을 보여, 재관류손상 후 혈행이 일시적으로 증가 후 지속적인 감소를 보였다(Fig. 4-6).

재관류 직후부터 60분까지의 혈류 증가 곡선이 높은 기울기를 보이는, 혈행의 개선이 빠른 경우에는 60분 이후에서 보이는 혈류감소를 극복하여 다시 혈행이 개선되는 것을 관찰할 수 있었다. 결찰을 푼 후부터 1시간 사이의 도플러값의 차이가 비괴사군에서는 평균 39.57 PU로 나타났고 괴사된 군에서는 21.21 PU로 나타났다(Table II).

**다. 허혈시간에 따른 혈관조영술의 결과**

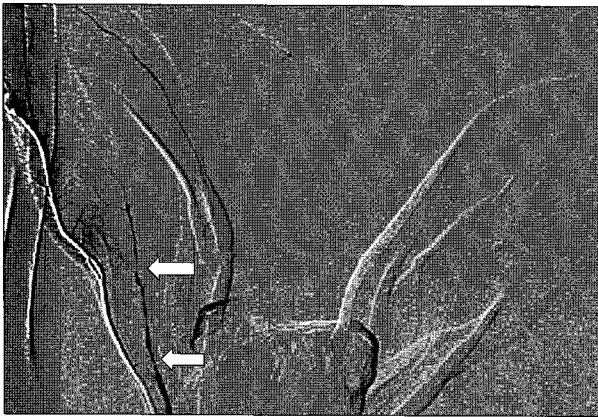
각 군마다 2레씩 10레에서 혈관조영술을 실시하였으나 조영제 쇼크에 의한 사망이 2레 있었고 통계학적인 의의를 가지지는 못하나 영상의 해석상 대조군과 6시간 결찰군에서는 특별한 혈관내의 변화를 관찰할 수 없었으나 9시간, 10시간과 12시간 결찰군(G3-5)에서 혈관 내벽의 손상을 의심할 만한 혈관의 협착을 관찰할 수 있었다(Fig. 7).

**Table II.** Comparison of Increased Perfusion Unit(doppler flow slope) during 1 Hour after Reperfusion between Necrotic and Non-necrotic Flaps

	Number of case	Mean(PU)	Standard deviation	t-value
Non necrosis	54	39.574	7.187	13.33*
Necrosis	46	21.215	6.346	

PU: perfusion unit

\*: p<0.05.



**Fig. 7.** Angiography of reperfusion case in group 3 with flap necrosis. There were multiple stenoses with terminal tapering of central artery(arrows).

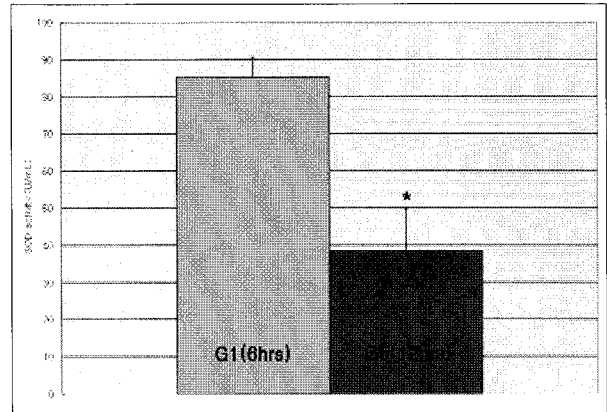
**라. 산소유리기 측정**

과산화 디스무타제(SOD)에 대해서는 6시간과, 12시간 결찰군(G1, G5)을 비교한 결과 85.50 u/ml와 38.25 u/ml로 12시간 군에서는 6시간 군의 44.7%로 감소되어 있는 것을 볼 수 있었고(Fig. 8), 글루타치온 과산화효소(glutathione peroxidase)는 6시간 군에서 410.05 mu/ml, 12시간 군에서 131.68 mu/ml로 12시간군이 6시간 군의 32.9% 정도로 유의하게 감소한 것을 볼 수 있었다(Fig. 9).

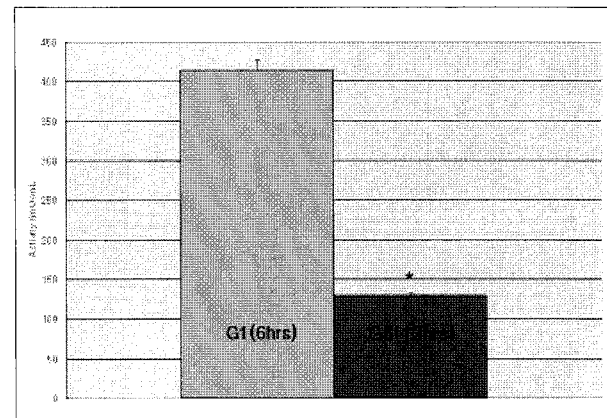
**마. 조직검사**

병리학적으로 재관류손상에 의한 혈관내벽의 손상을 혈관의 변화, 부종, 염증소견의 정도, 내피의 괴사 정도에 의해 나타낼 수 있었고, 그 손상의 정도는 결찰된 시간에 따라 더 심하게 관찰되었으며, 9시간 결찰된 군(G3)부터 비정상적 조직소견이 명확하게 나타나기 시작했다(Table III).

6시간(G1)과 8시간(G2) 결찰군에서 육안적으로는 특별한 병리적 소견이 관찰되지 않았고, 현미경하에서 혈관내의 미미한 충혈 소견이 관찰되었다. 9시간(G3)과 10시간(G4) 결찰군에서는 현미경하에서 혈관벽의 부종과 충혈, 혈관 외부로의 출혈이 관찰되었고 특히 10시간 결찰군(G4)에서부터 혈전이 형성되었으며, 경도에서 중등도의 염증반응과 내피의 괴사소견도 관찰할 수 있었다. 그리고 괴사의 정도와 부위에 따라 다양한 조직소견을 관찰할 수 있



**Fig. 8.** Comparison of superoxide dismutase(SOD) in reperfusion group 1 and group 5. SOD was significantly decreased in reperfusion group 5. It means that scavenger consumption was increased due to increased free oxygen radical production and the flap was more sensitive to reperfusion injury in that group 5(\*:p<0.05).



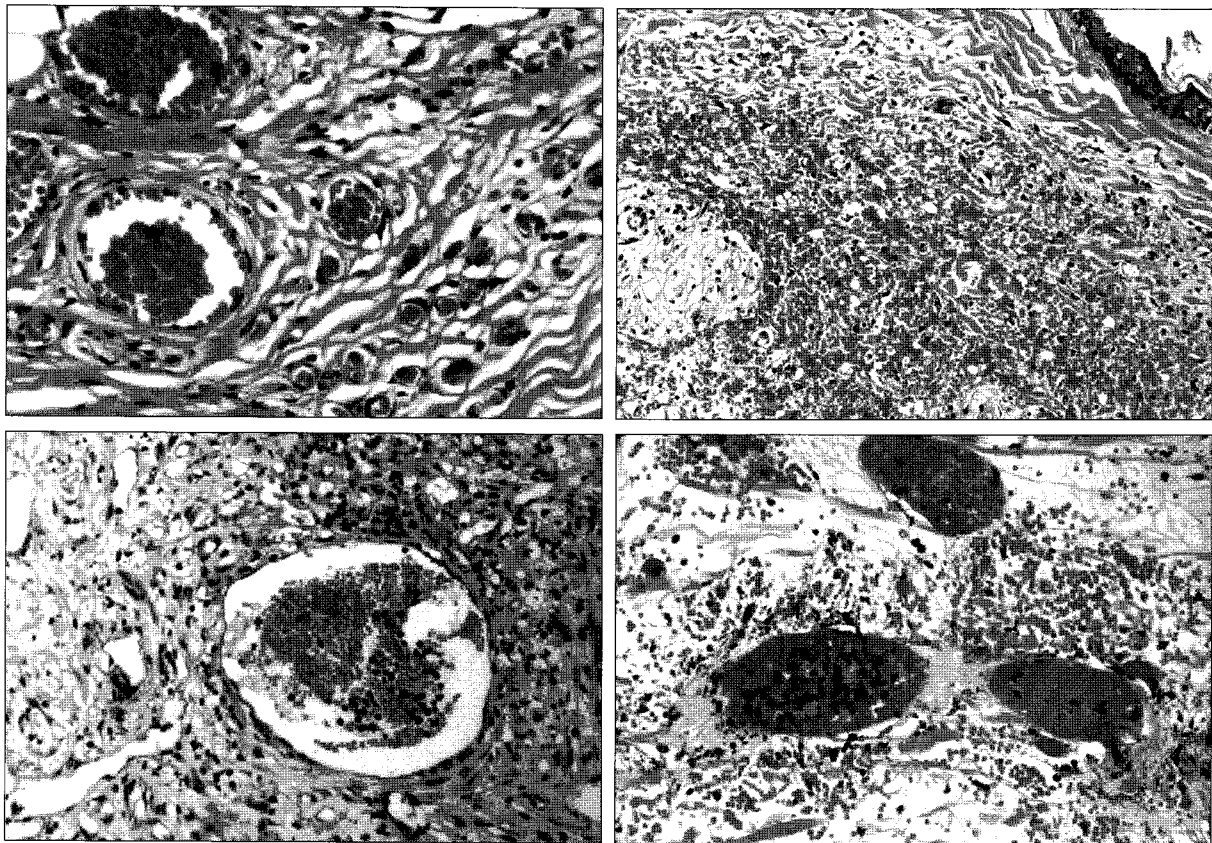
**Fig. 9.** Comparison of glutathione peroxidase in reperfusion group 1 and group 5. Glutathione peroxidase was significantly decreased in reperfusion group 5. It means that scavenger consumption was increased due to increased free oxygen radical production and the flap was more sensitive to reperfusion injury in that group 5(\*:p<0.05).

었다. 한편 12시간 결찰군(G5)에서는 미만성 표피박리증, 괴사, 궤양과 심한 염증소견, 혈관이 막힐 정도의 혈전 형성을 관찰할 수 있었다(Fig. 10).

**Table III.** Pathologic Findings of Auricular Flap according to Duration of Pedicle Ligation

Group	Epidermal change	Edema	Vascular change	Grade of inflammation
G3	Mild degeneration	Mild	Congestion, hemorrhage	Mild
G4	Mild to moderate necrosis	Moderate	Hemorrhage, congestion, thrombus	Moderate to severe
G5	Diffuse necrosis & ulcer	Severe	Severe congestion, hemorrhage, many thrombus formation	Severe

G3: reperfusion group after 9 hours ligation, G4: reperfusion group after 10 hours ligation, G5: reperfusion group after 12 hours ligation.



**Fig. 10.** Histologic findings of resected auricular tissue in G2 (Above, left), G3 (Above, right), G4 (Below, left) and G5 (Below, right), H-E,  $\times 200$ . Reperfusion group 2 (Above, left) showed mild vasodilation and congestion (Above, left). Reperfusion group 3 (Above, right) showed diffuse hemorrhage, edema and mild chronic inflammatory cell infiltration (Above, right). Reperfusion group 4 (Below, left) showed thrombus formations, in addition to edema, vasodilation and chronic inflammatory cell infiltration (Below, left). Reperfusion group 5 (Below, right) showed more extensive occlusive thrombosis and hemorrhage (Below, right).

#### IV. 고찰

임상의 여러 분야에서 장시간의 허혈 후 재관류로 인한 장기 및 조직 손상을 볼 수 있다. 미세수술 후 피판의 혈류 순환에서 장애가 발생되어 피판의 괴사가 초래되는 경우를 예로 들 수 있는데 유리피판수술 이후에 혈관경의 문제로 재수술을 하여 중단된 동맥 혹은 정맥의 흐름을 다시 복원시켰음에도 불구하고 피판의 괴사가 진행되는 것을 볼 수

있다. 이는 혈관을 통한 재관류가 이루어졌음에도 불구하고 미세순환의 장애가 그 원인이 된다. 이러한 기전은 허혈과 재관류손상이다. 재관류손상 시 이를 극복하기 위한 약제는 여러 가지 방향으로 개발되어 있다. 따라서 술후 피판관류의 지속적인 관리가 수술의 성공률을 최대화시키는데 필요하며, 혈관경의 문제 발생 시 최대한 빠른 시기의 구제술과 술후 재관류손상에 대한 빠른 발견과 적절한 처치가 수술의 결과를 좌우할 수 있다. 재관류손상은 허혈 후 발생

되는 것으로 하나의 조합된 손상이며, 비관류 현상의 기전이다. 재관류손상은 주로 세 가지 요소로 나누어 볼 수 있는데 혈관 내벽의 손상과 허혈손상 그리고 전신적 혹은 국소적 반응이다. 술후 위험한 피관을 구제하는데 있어 피관 경의 문제점을 파악하는 것이 중요한데 이학적 검사나 객관적인 감시 시스템에 의한 방법으로 이를 해결하고 있다. 여러 가지 객관적인 감시 방법 중 가장 유용한 것으로 레이저 도플러가 있다. 레이저를 이용한 피부혈류량의 측정은 1977년 Stern 등<sup>2</sup>이 보고한 이래 현재 널리 쓰이고 있다. Hovius 등<sup>3</sup>은 레이저 도플러가 술후 모니터링으로서 93%의 민감도와 94%의 특이도를 보여 높은 신뢰성을 보였다고 보고하였다. 레이저 도플러는 780 nm의 레이저를 이용하여 광섬유다발을 통해 목표물에 레이저를 조사하여 나오는 반사광을 분광분석기로 분석하여 혈류를 측정하는 것이다. 이때 움직이지 않는 조직에서의 반사광은 같은 주파수로 감지되고 이동하는 목표물에서의 반사광은 도플러 법칙에 의하여 편위되어 두 가지 반사광을 비교 분석하여 혈류를 측정한다. 피부내의 움직이는 물체는 여러 가지가 있으나 주로 적혈구에 의한 것이고 나머지는 무시할만한 것으로 되어 있다. 레이저 도플러의 측정치는 약 1 mm 내외로 피부를 투과하여 혈관층 내의 혈류를 측정하는 것으로 최대 투과깊이가 약 1.5 mm까지 된다고 한다.<sup>4,5</sup> Svensson 등<sup>6</sup>은 돼지를 이용한 실험적 피관연구에서 레이저 도플러를 이용하면 동맥혈전과 정맥혈전을 구별해 낼 수 있다고 하였다. 그러나 레이저 도플러의 단점이 있는데 첫째로 탐침을 정확하게 피부에 잘 닿게 하여야 혈류 측정이 잘 된다는 것이다 조금만 움직여도 수치의 변동이 있어 일정한 수치를 얻기 어렵다. 둘째로 저자가 사용한 레이저 도플러의 측정단위가 임의로 정한 관류값(perfusion unit, PU)으로 나타나고, 만 기계를 사용했을 때 동일하게 비교하기가 어렵다는 것이다. 셋째로 매 실험마다 기준점 조절기(calibration device)를 사용하여 기준점을 조절해야만 오차를 줄일 수 있는 불편함이다.<sup>7</sup>

따라서 저자는 이러한 단점을 극복하기 위해 가토의 마취를 근이완제를 포함한 마취제를 사용하여 움직임이 없게 하였고 측정기 소식이 측정 시마다 정확하게 동일한 지점의 측정을 할 수 있게 하고, 소식이 피부에 직각으로 유지될 수 있게 하기 위한 틀로서 이개모양의 패턴을 제작하였다. 한편 저자가 사용한 레이저 도플러의 기종은 이상발생 시만 기준점 조절을 하면 되는 자가 제어시스템이 있어 기준점 조절기의 사용을 매번 할 필요는 없었다. 레이저 도플러의 평가는 절대값이 아닌 상대값으로 측정되므로 수치 그 자체보다는 수치의 변화 양상을 관찰하는 것이 중요하고, 절대적 수치의 설정치 보다는 상대적 수치의 변화로 판단하는 것이 더 도움이 된다고 Svensson 등<sup>6</sup>

은 주장한 바가 있다. 레이저 도플러의 평가시 소식이 정확히 위치하고 기대 이상의 수치가 기록된다면 위음성과 위양성의 가능성은 매우 적어 피관의 생존률을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다.<sup>8</sup>

본 실험에서 재관류손상을 만든 이개 피관 모델에서 허혈 시간과 나타난 괴사와는 상관관계가 있었으며 이렇게 객관적인 수치의 정보를 제공해주는 레이저 도플러기는 피관의 술후 혈류 상태를 파악하는데 유용한 장비로 사료된다. 현재 개발되어 상용되고 있는 삽입식(implantable) 레이저 도플러기 또한 효과적인 장비인데 입력 장치의 설치가 용이하지 않고 미동이나 위치 변위로 인한 오차를 감안해야 하는 점에서는 마찬가지로 사료되나 피관의 생존률을 향상시키는 데에는 도움이 될 것으로 사료된다.<sup>9</sup> 레이저 도플러는 비관혈적으로 반복적인 측정이 가능하고 환자에게 손상이나 불편을 주지 않고 연속적으로 측정할 수 있으며 반복적으로 모든 종류의 조직에 사용 가능한 점에서 정확한 측정법이라 할 수 있다.

본 실험에서 6시간과 8시간 동안 결찰한 군에서는 이개피관의 괴사가 전혀 발생하지 않았고 9시간, 10시간 군에서는 괴사가 없는 군과 괴사가 있는 군이 혼재된 것을 볼 수 있었다. 이로써 괴사가 일어나는 임계 결찰시간은 8시간에서 9시간 사이에 존재함을 알았다. 하지만 괴사로의 임계시간이 있다는 그 자체로의 의의만 있지 임상에서 이 시간을 적용하기에는 무리일 것이다. 그리고 피관의 괴사가 없었던 경우의 혈관 재개통 후 1시간 동안 회복되어지는 평균 PU값은 39.57이었고, 피관의 괴사가 있었던 경우는 평균 21.21 PU였으며 통계학적으로 유의했다. 이것은 재관류 후 초기에 혈류의 개선이 좋은 군에서 유리산소기에서 유래되는 물질들이 희석되어 전신적 순환으로 흘러 나감으로써 혈관의 손상이 진행되지 않음을 유추할 수 있다.

임상에서도 다양한 피관이 존재하지만 향후 추가 연구에서 혈관 재개통 후 재관류손상을 미리 예측할 수 있도록 재개통 후 1시간 동안 회복되어지는 PU의 기준 자료가 확보되면 유용할 것으로 사료된다. 재관류손상과 혈전에 의한 손상을 구별하기 위하여 혈관촬영을 하였는데, 괴사가 진행될 경우에 전체적으로 혈관이 좁아지면서 조영제의 흐름이 끊어지는 것을 보아 형태학적으로 혈전보다 재관류 손상에 의한 괴사일 것으로 생각된다. 한편, 괴사가 전혀 없었던 군(G1)과 피관 전체가 괴사가 된 경우(G5)의 비교에서는 G5에서 과산화 디스무타제와 글루타치온 과산화효소 수치가 유의하게 감소되어 있었는데 이는 결찰시간이 긴 군에서 유리기 제거제의 소모가 많은 것을 나타내고 유리기가 많이 발생한 것을 간접적으로 알 수 있어 유리기에 의한 재관류손상이 더욱 심할 것으로 추론할 수 있

다. 따라서 임상에서도 재관류 손상이 의심될 경우에 혈중 과산화 디스뮤타제와 글루타치온 과산화효소의 측정으로 그 정도를 예측할 수 있을 것으로 생각되고 앞으로 그 혈중 변화량에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

레이저 도플러기는 장비가 고가로 임상적으로 보편화되기는 어려운 점이 있으나, 술후 피판의 문제점의 신속한 발견, 지속적인 실시간 감시, 정보의 저장과 술자의 정확한 판단을 용이하게 해주는 장점이 있어 피판 생존을 향상시키는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

## V. 결 론

재관류손상을 받은 가토의 이개피판에서 측정된 레이저 도플러 수치의 절대치는 피판의 괴사를 예측하는데 이용할 수 없으나 시간에 따른 상대적인 수치의 변화로 혈류의 변화를 알 수 있으므로 재관류 손상을 예측할 수 있었다. 따라서 재관류 후 PU 값의 증가가 경계상태를 보이고 혈중 과산화 디스뮤타제와 글루타치온 과산화효소의 감소가 있으면 재관류손상으로 인한 피판괴사의 가능성이 존재하므로 재관류손상에 대한 유리기 제거제의 사용과 더불어 회생술(salvage procedure) 등의 예방적 치료를 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

즉, 재관류 후 PU 값의 증가가 현저할 경우는 재관류손상이 있어 일시적인 PU값의 감소가 있더라도 혈류가 다시 회복됨을 예측할 수 있었다. 반면, 재관류 후 PU 값의 증가가 미미할 경우는 재관류손상이 있어 혈류의 회복이 곧 감소되어 유리 산소기의 손상이 지속됨을 예상할 수 있었다. 특히 재개통 후 1시간 동안 회복되는 PU값이 유용할

것으로 판단된다. 한편 괴사된 경우에 과산화 디스뮤타제와 글루타치온 과산화효소의 감소가 유의했다.

## REFERENCES

1. Yuen JC, Feng Z: Monitoring free flaps using the laser doppler flowmeter: Five-year experience. *Plast Reconstr Surg* 105: 55, 2000
2. Stern MD, Lappe DL, Bowen PD, Chimosky JE, Holloway GA, Keiser HR, Bowman RL: Continuous measurements of tissue blood flow by laser-doppler spectroscopy. *Am J Physiol* 232: 441, 1977
3. Hovius SER, Van Adrichem LNA, Mulder HD, Van Strik R, Van der Mealen JC: The predictive value of the laser doppler flowmeter for postoperative microvascular monitoring. *Ann Plast Surg* 31: 307, 1993
4. Holloway GA, Watkins DW: Laser doppler measurement of cutaneous blood flow. *J Invest Derma* 69: 306, 1977
5. Fischer JC, Parker PM, Shaw WW: Comparison of two laser flowmeters for the monitoring of dermal blood flow. *Microsurgery* 4: 164, 1983
6. Svensson H, Svedman P, Holmberg J, Wieslander JB: Detecting changes of arterial and venous blood flow in flaps. *Ann Plast Surg* 35: 15, 1985
7. Hwang JW, Park DH: Estimation of the normal skin blood flow by laser doppler flowmetry. *J Korean Soc Plast Reconstr Surg* 23: 394, 1996
8. Goldberg J, Sepka RS, Perona BP, Pederson WC, Klitzman B: Laser doppler blood flow measurements of common cutaneous donor sites for reconstructive surgery. *Plast Reconstr Surg* 85: 581, 1990
9. Fernando B, Young VL, Logan SE: Miniature implantable laser doppler probe monitoring of free tissue transfer. *Ann Plast Surg* 20: 434, 1988