

광혈량계를 이용한 가토의 대퇴동맥 문합술후의 혈류 측정

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

이덕용 · 정문상 · 최인호 · 정필현 · 정진엽

= Abstract =

Photoplethysmographic Assessment of Blood Flow after Reanastomosis of the Femoral Artery in Rabbits

Duk Yong Lee, M.D., Moon Sang Chung, M.D., In Ho Choi, M.D., Phil Hyun Chung, M.D.
and Chin Youb Chung, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea

Photoplethysmography(PPG) employs an infrared light-emitting diode to transmit light into the skin noninvasively. Light reflected from blood cells is received by a photocell or phototransistor which permits recording of the pulsatile cutaneous microcirculation.

The use of PPG for vascular measurements in extremities is not new. Since Hertzmann, in 1938, first described the technique to measure skin blood flow, a few investigators have used PPG for clinical application. However, experimental reports on the photoplethysmographic assessment of blood flow after arterial reanastomosis are rare.

We assessed the changes of blood flow after reanastomosis of the femoral artery in rabbits using photoplethysmography. We divided 20 rabbits into 3 experimental groups. In Group I, the femoral artery was surgically exposed and clamped for 60 minutes. In Group II, the femoral artery was surgically exposed and clamped, as in Group I, and then severed and anastomosed crudely in order to create thrombus formation. In Group III, the femoral artery was prepared as Group II and then anastomosed carefully to ensure patency. Blood flow was measured by photoplethysmography on the anteromedial aspect of the right hind leg, every 15 minutes for the first 2 hours, at the 3rd day, 1 week, and 2 weeks post-operatively.

The following results were obtained

1. After the removal of vascular clamp, the mean time for the pulse wave to return to normal form was 63 ± 24.0 minutes in Group I and 63 ± 18.7 minutes in Group III. There was no statistically significant difference between the two groups. When the wave form was normalized, it remained so continuously.
2. After the removal of vascular clamp, the mean time for the wave amplitude to return to normal was 108 ± 11.2 minutes in Group I and 102 ± 16.4 minutes in Group III. There was no statistically significant difference between the two groups.
3. The thrombosis which obstructed blood flow was formed within the first 60 minutes(mean time: 49 ± 12.4 minutes) in all the animals in Group II. When the thrombosis was formed, it was readily detected by the change of wave form and by decrease in amplitude.
4. It is concluded from this experiments the changes of blood flow after reanastomosis of the femoral artery in rabbits were accurately assessed by PPG.

* 본 논문은 1986년도 서울대학교병원 특진연구비 보조로 이루어진 것임.

* 본 논문의 요지는 1986년 제30차 추계학술대회에서 발표된 바 있음.

서 론

미세혈관을 문합한 후에는 문합부위의 혈류상태를 정확히 파악하여야 하며, 만약 혈류가 폐쇄된 경우에는 조기에 발견하여 결정적 시기(critical period)내에 즉각적인 수술적 처치를 할 수 있기 위하여는 혈관문합술 후 일정기간 계속적인 관찰을 요한다. 이러한 혈류상태를 측정하는 방법으로는 임상적인 이학적검사 이외에도 재래식의 혈관조영술(conventional angiography)이 있다. 근래에는 이를 발전시켜 혈관의 영상만을 조영하여 볼 수 있는 방사성 동위원소 혈관조영술(radionuclide angiography) 또는 digital subtraction angiography (DSA)가 말초혈관 및 혈류상태를 파악하는 기본적인 진단 방법으로 현재 사용되고 있다^{1, 2, 3, 4}. 그러나 이러한 침습적인 방법(invasive method)들은 환자에 대한 시간적, 경제적인 부담과 고통이 뒤따르며, 일상적 검진(routine screening)이나, 내과적 혹은 외과적 치료후의 추시 관찰에 사용하기에는 위험성(risk)도 뒤따르는 방법들이다.

따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 도플러 초음파기(Doppler ultrasound), 체표온도측정기(temperature gauge), 열선조영술(thermography), 경피 산소분압측정(percuteaneous oxygen-tension monitor)과 혈량계(plethysmography)등과 같은 비침습적(non-invasive) 방법들이 있다. 이들 중에서도 비침습적이며, 조작이 간단하고, 지속적인 측정이 가능하며, 전문가가 아니더라도 쉽게 결과를 판독할 수 있으며, 정확도가 뛰어난 광혈량계(photoplethysmography, PPG)가 점차 임상적용 범위를 넓혀가고 있으며, 앞으로도 더욱 발전가능성이 있는 방법으로 관심을 모으고 있다.

광혈량계(PPG)에는 측정하려는 조직이 광원과 광감지기(photoelectric sensor) 사이에 위치하게 되는 투과적 광혈량계(transmission PPG)와 광원과 광감지기가 조직의 한쪽면에 부착되는 반사적 광혈량계(refraction PPG)의 두 종류가 있다. 근래 일반적으로 사용되는 반사적 광혈량계의 원리는 비침습적으로 적외광(infrared light)을 방출하는 다이오드(diode)를 이용하여 피하로 빛을 투과시킨 후 혈구로부터 반사되어 오는 빛을 광트랜지스터(phototransistor)로 감지하여 파형으로 기록함으로써 박동적인 피부 및 피하 미세혈류를 측정하는 것이다.

이밖에 수은의 band를 이용한 의력계기혈량계(st-rain gauge plethysmography)가 있는데, 이는 그조작이 복잡하며 반사적 광혈량계의 정확도는 이 방법보다 뒤떨어지지 않는다고 한다¹⁰.

1938년 Hertzmann¹¹이 처음으로 피부혈류 측정에 광혈량계의 이용을 발표한 이래 광혈량계는 주로 생리학자에 의하여 약물이나 교감신경차단이 혈관에 미치는 영향등을 연구하는데 사용되어 왔었다. 1970년대에 들어서면서 본격적으로 임상적 이용도가 높아지기 시작하였는데, 1973년 Nielsen¹²은 피부의 동맥혈압 측정에 광혈량계를 이용하였고, 1976년 Webster¹³는 미세혈관 문합술 후 혈류의 유통성(patency)을 측정하는데 사용할 수 있다는 가능성을 제시하였으며, 1977년 Hajjar¹⁴은 경동맥협착증의 진단에 이용하였다. 1979년 Lee¹⁵와 Bone¹⁶은 각각 피부과양의 치유능력을 판단하거나 전족부 절단후 피부의 치유능력을 판단하기 위하여 광혈량계를 이용하였다. 1979년 Abramowitz¹⁷은 만성정맥질환 환자에서 정맥부전의 정도를 측정하는데 광혈량계를 이용하였다. 이 이후에도 여러 저자들^{3, 6, 10-14, 18, 21, 22}이 광혈량계의 파의 진폭 및 파형의 변화로 혈류량의 상대적인 변화를 측정할 수 있다고 보고하였다.

이와 같이 최근에 들어서 광혈량계의 임상적 적용이 늘어나고 있으나, 미세혈관 문합술 후 혈류량 변화의 측정에 대하여는 임상적 보고예가 더러 있으나 실험적 연구는 아직 미미한 편이다.

이에 저자들은 가토의 대퇴동맥을 이용한 미세혈관 문합술 후 광혈량계를 이용하여 혈류의 변화를 실험적으로 측정 관찰하여 이 방법의 임상적 이용이 얼마나 용이한지(feasibility)를 규명하고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험 동물은 동일한 환경에서 사육된 체중 2.5~3.0kg의 성숙한 백색가토 20마리를 제 1대조군 5마리, 제 2대조군 5마리, 제 3실험군 10마리로 분류하였다. 이중 마취사고 및 감염등으로 2주까지 생존하지 못한 5마리의 가토를 제외하고 실제로 실험에 사용된 가토는 제 1군 5마리, 제 2군 4마리, 제 3군 6마리이었다.

수술현미경은 약 7~21배의 확대가 가능한 일제

Nagashima사의 3형 현미경을 사용하였다. 미세혈관 수술기구는 스위스의 S and T사 제품을 사용하였고, 실험에 사용된 혈관결자(vascular clamp)는 2V형으로서 혈관에 가해지는 압력은 20~25gm/mm²

이었으며, 모든 실험에서 동일한 혈관검자를 사용하였다. 광혈량계는 미국의 Meda Sonics[®]사의 Vasculab PPG 13형(Fig. 1-A)을 사용하였으며, 역시 Meda Sonics[®]사의 R12B형 Two-Channel Ch-

Fig. 1. Material and method of experiment. **A)** Meda sonics PPG13 photoplethysmograph(PPG), **B)** Overview of experimental set, **C)** Attachment of photopulse sensor, **D)** Clamping of femoral artery with “2V” microvascular clamp, **E)** Transection of clamped femoral artery, **F)** Post-reanastomosis.

art Recorder(Fig. 1-B. bottom)를 이용하여 결과를 기록하였다.

2. 실험방법

3개의 실험군으로 나누어 실험하였다. 제1군은 대조군으로서 대퇴동맥을 결자(clamping)만 하였으며, 제2군은 대퇴동맥 문합술시 수술적 조작으로 혈전을 형성시켜 혈류를 폐쇄(obstruction)한 군이며, 제3군은 대퇴동맥 문합술 후 혈류 유통이 잘 된(patent)군이다.

측정은 각군에서 먼저 실험시작 전에 측정하여 이를 기준으로 정하였다. 이후에는 대퇴동맥을 노출시킨 후, 혈관을 결자한 직후, 동맥문합 여부를 막론하고 혈관결자를 제거한 직후, 그리고 2시간 동안 창상을 봉합할 때까지 매 15분 간격, 그후로는 술후 제3일, 제1주 및 제2주에 각각 측정하였다. 마취는 20% urethane을 체중 kg당 5cc를 가토의 복강내에 주사하고 ketamine을 체중 kg당 10mg을 근육주사 하였다.

혈류에 영향을 줄 수 있는 lidocaine과 같은 모든 약물의 사용은 배제하였다. 수술은 수술부위인 우측 서혜부, 복부 및 대퇴부와 광혈량계의 다이오드(diode)의 부착부위인 우측 하퇴 경골내과부를 전기작모기로 삭모한 후 광혈량계의 다이오드(diode)를 투명 접착테이프를 이용하여 경골내과 상부 3cm의 위치에 일정하게 고정하였다. 다이오드의 고정시에는 압력에 의한 국소혈류 장애를 없애기 위하여 피부에 압력이 가해지지 않도록 다이오드 전면이 피부와 밀착되게, 그러나 외부의 광선이 새어들어가지 못할 정도로 부착하였다. 다이오드를 부착시킨 가토를 실험용 수술대 위에 앙와위로 사지를 고정한 후, 수술부위는 betadine으로 소독하고 주위를 소독포로 덮었으며, 광혈량계의 다이오드로 소독포로 덮어서 실내의 빛을 차단함으로써 이에 의한 오차를 제거하였다.

우측 대퇴부의 전내측에서 서혜인대를 기준으로 동맥을 따라 직선으로 5cm의 피부를 절개한 후 수술현미경 시야에서 대퇴동맥을 손상시키지 않도록 대퇴정맥과 주위 조직으로부터 미세 박리한 후에 심부대퇴동맥이 분지한 바로 원위부에서의 대퇴동맥에서 실험을 실시하였다. 심부대퇴동맥이 분지기전에서 실험을 실시하지 않은 이유는 가토는 해부학적으로 심부대퇴동맥이 서혜부에서 기시하기 때문에 그보다 근위부의 대퇴동맥에서 문합술을 시행하기는 어렵기 때문이다.

제1군에서는 대퇴동맥을 혈관결자로 보통 혈관 문합에 소요되는 시간인 1시간 동안 결자한 후 제

거하고, 대퇴동맥을 계속적으로 생리식염수로 적시면서 2시간까지 관찰한 후 3-0비단사를 이용하여 연속봉합으로 피부만 봉합하였다.

제2군에서는 역시 제1군과 동일한 부위에 혈관 결자로 결자한 후 혈관결자의 중앙부에서 대퇴동맥을 절단하였다.

Heparin을 섞지 않은 생리식염수로 절단된 대퇴동맥의 내강을 세척한 후 혈관 외벽(adventitia)을 혈관내강이 잘 보일 정도로 최소한의 박리를 하였다. 혈전을 형성시키기 위하여 혈관의 내벽(intima)을 미세결자(jeweler's forceps)로 긁어 조직손상을 가한 후 10-0 nylon으로 12~16회의 조잡한 단속봉합을 하였다. 혈관문합이 끝나면 혈관결자를 원위부부터 먼저 제거하였으며, 혈관문합시 사용한 배경지를 이용하여 문합부위를 감싼 후 지혈된 때까지 약 2~3분간 가볍게 압박하여 문합부로부터의 혈류유출을 방지하였다. 이어 혈류 개통 검사를 시행하여 혈행을 확인한 후 생리식염수로 수술부위를 계속적으로 적시면서 15분 간격으로 혈류를 광혈량계로 측정하였는데 대개 1시간전에 혈전이 형성되는 것을 직접 관찰하면서 2시간 동안 계속 측정한 다음 창상을 봉합하였다.

제3군은 제1군 및 제2군과 동일한 방법으로 혈관에 결자를 한 후 혈관결자의 중앙부에서 대퇴동맥을 절단하고 100cc 생리식염수에 1,000unit의 heparin을 희석한 용액으로 세척하여 동맥내강 안에 있는 혈액을 완전히 제거한 다음, 혈관외벽은 혈관내강이 잘 보일 정도로 최소한의 박리를 하였다. 혈관내벽(intima)에는 손상을 주지 않도록 조심하면서 180°지지문합법을 이용하여 5~7회의 단속봉합을 시행하였다. 문합후에는 제2군과 동일한 방법으로 측정하고 창상을 봉합하였다.

모든 군에서 수술부위는 수술 및 측정조작중 생

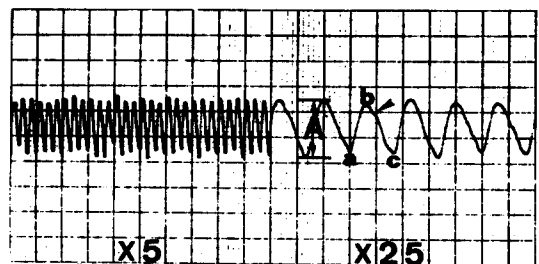


Fig. 2. Pulse wave analysis in the chart speed of 5mm/sec and 25mm/sec. Normally, the pulse wave has a steep upslope(a-b), a relative narrow peak(b), and a dicrotic wave (arrow head) on the downslope(b-c) which is concave toward the baseline. A) Amplitude of plethysmographic pulsation.

리식혈수로 계속적으로 적혔고, 세척한 다음 봉합하여 건조에 의한 조직손상을 예방하였다. 모든 실험 가토들은 감염을 예방하기 위하여 수술 직전과 수술후 2일간 kanamycin 80mg을 근육주사 하였다.

광혈량계 측정시에는 진폭조절기를 실험전에 처음 측정시 정한 위치에 고정하여 끝까지 같은 위치에서 측정하였다. 모든 실험 가토들은 술후 제3일, 7일 및 14일에 전신마취하에 재작모후 동일한

방법으로 광혈량계로 측정하였다(Fig. 1).

결 과

광혈량계를 이용하여 각 실험가토에서 측정된 혈류파의 분석은 파형(wave form)과 파의 진폭(amp-litude)의 2가지 측면에서 분석 가토하였다(Fig. 2).

파형의 분석은 각 실험가토에서 수술후 정상파형으로 돌아오는 것을 관찰하였다. 정상파형은 혈류

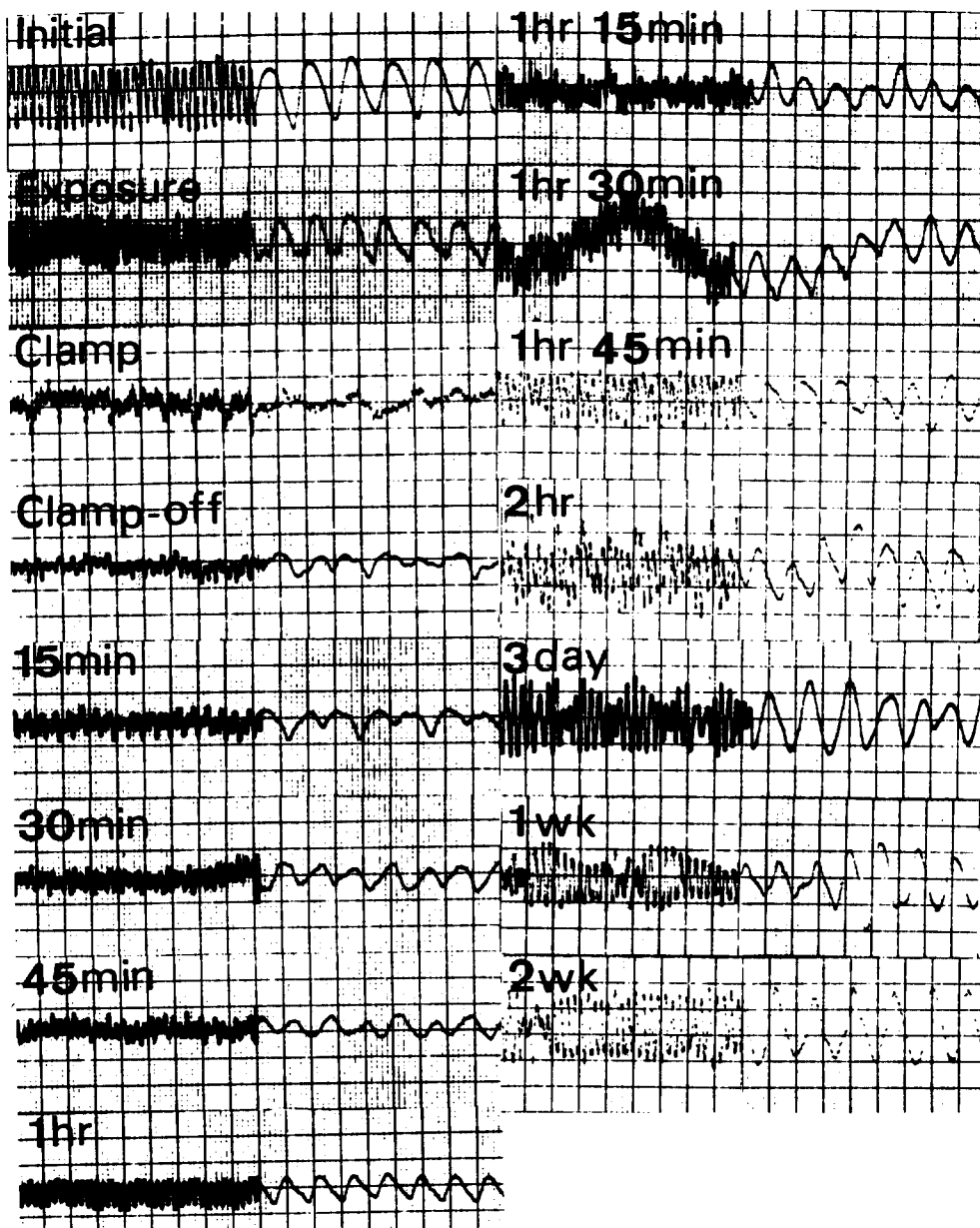


Fig. 3. Pulse wave form in Group I (clamping only).

파의 상향경사가 급하며(steep upslope) 정점(peak)은 비교적 좁고 하향경사에서는 중복맥박(dicrotic wave)을 보이며, 기준선쪽으로 오목한 형태를 취하는 경우로 간주하였다(Fig. 3, 4, 5).

파의 진폭은 혈류파의 하향경사(down slope)에서 상향경사(up slope)로 바뀌는 점에서 파의 정점까지의 높이를 측정하였으며, 연속되는 5개파의 진

폭을 평균하여 각 시간의 진폭으로 정하였다. 시간에 따른 진폭은 변화를 비교하기 위하여 각 실험가토의 실험적 측정치에 대한 각 시간별의 진폭을 백분율로 표시하였다(Table 1, 2, 3). 결과에 대한 통계처리는 student's t-검정을 이용하였다.

1. 파형의 변화

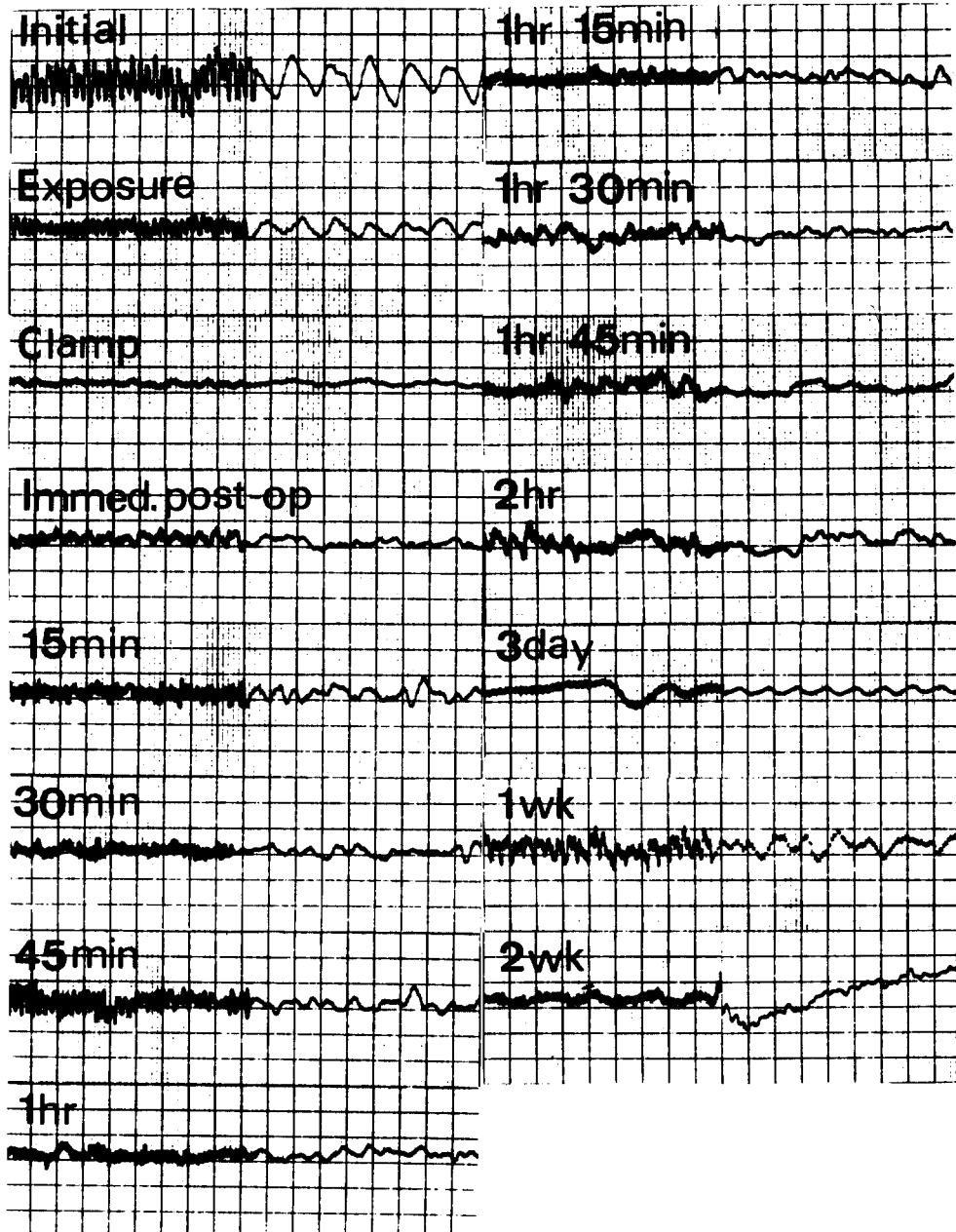


Fig. 4. Pulse wave form in Group II(thrombosed anastomosis).

혈관검사 제거 후 정상파형으로 돌아오기 까지의 평균소요 시간이 제 1군은 63 ± 24 분, 제 3군은 65 ± 18.7 분이었으며, 통계학적으로 유의한 차가 없었다. 혈류파형이 처음 정상으로 돌아온 후에는 계속적으로 정상적인 파형을 보였으며, 비정상적인 파형으로 다시 돌아온 경우는 없었다.

2. 진폭의 변화

정상진폭은 파형이 정상으로 돌아온 이후에 각 시간별 진폭중 처음으로 실험전의 진폭과 같은 크기를 나타낸 것을 기준으로 하였으며, 수술전 기준치와 5%미만의 차이는 같은 크기로 간주하였다.

혈관검사를 제거한 후 정상 진폭이 나타난 평균

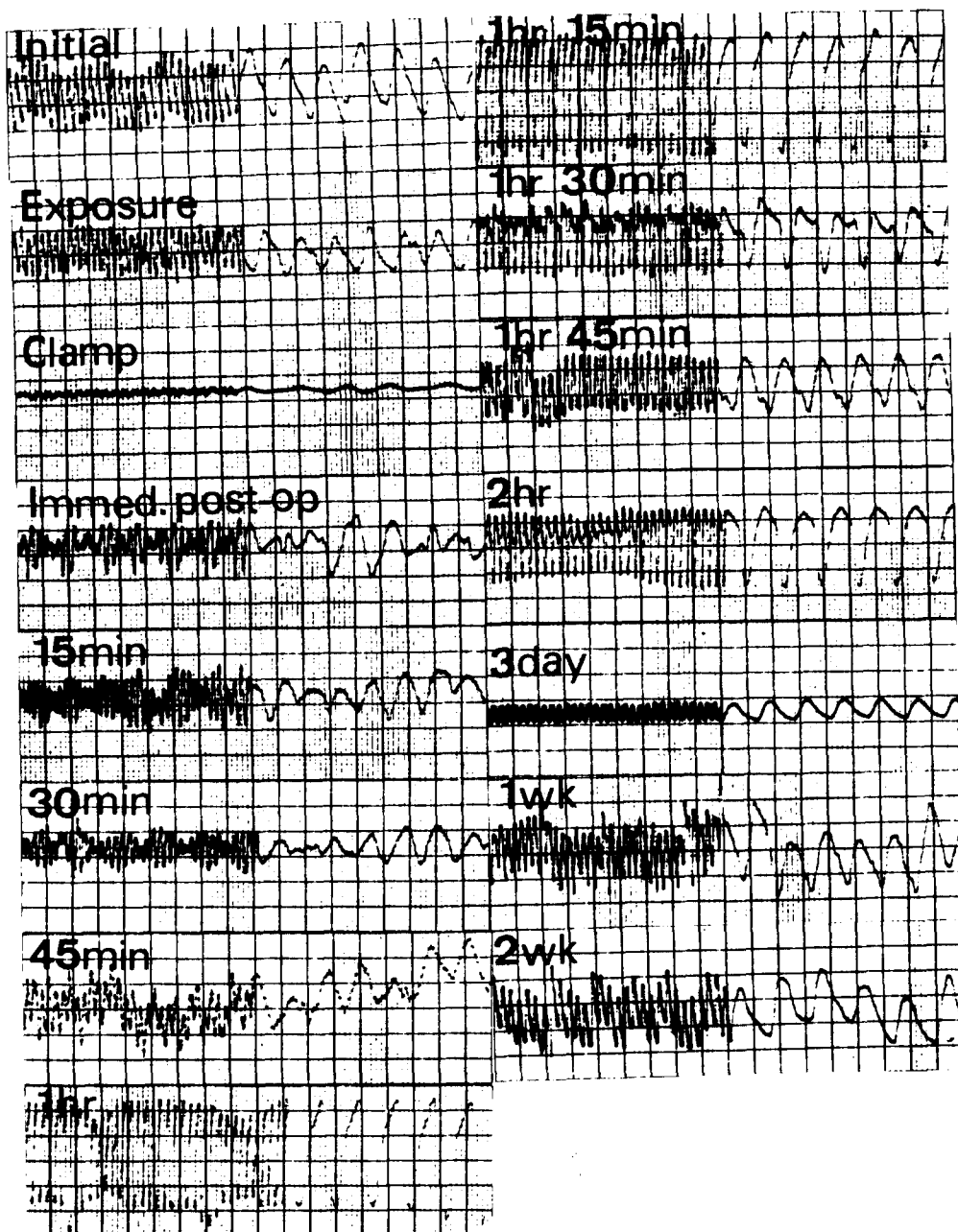


Fig. 5. Pulse wave from in Group III(patent anastomosis).

시간은 제 1 군은 108 ± 11.2 분이였다. 제 3 군에서는 2 주까지 진폭이 정상으로 돌아오지 않은 한 예를 제외한 나머지에서 평균 102 ± 16.4 분이였다. 두

군에서 정상진폭이 나타난 평균시간에는 t-검정한 결과 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

각 측정시간에서의 진폭의 범위를 보면, 제 1 군

Table 1. Group I (clamping only)

| Time | Group 1 Amplitude mm(%) | 2 Amplitude mm(%) | 3 Amplitude mm(%) | 4 Amplitude mm(%) | 5 Amplitude mm(%) | Mean \pm S.D.* n=5(%) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Initial | 11.0(100) | 13.0(100) | 11.0(100) | 17.0(100) | 10(100) | |
| Exposure | 7.5(68) | 4.0(31) | 8.0(73) | 4.0(24) | 11(110) | 61.2 \pm 31.2 |
| Clamp | 3.0(27) | 1.5(12) | 1.0(9) | 1.0(5) | 1(15) | 13.6 \pm 7.5 |
| Immediate clamp-off | 3.5(32) | 2.0(15) | 3.0(27) | 2.5(15) | 11(110) | 39.8 \pm 35.7 |
| 15 min | 4.5(41) | 12.0(92) | 7.0(64) | 5.5(32) | 10(105) | 47.9 \pm 27.9 |
| 30 min | 5.0(45) | 22.0(169) | 7.0(64) | 10.0(59) | **10(105) | 88.4 \pm 44.9 |
| 45 min | 5.0(45) | 19.0(146) | 8.0(73) | **12.0(71) | 12(120) | 91.0 \pm 36.6 |
| 1 hr | **6.0(55) | 15.0(115) | 9.0(82) | 13.0(76) | 12(120) | 89.6 \pm 24.5 |
| 1 hr 15 min | 6.0(55) | 14.0(107) | 6.0(54) | 13.5(79) | 11(110) | 81.0 \pm 24.1 |
| 1 hr 30 min | 8.0(73) | **13.5(103) | **8.0(73) | 15.0(88) | 10(105) | 88.4 \pm 13.9 |
| 1 hr 45 min | 9.0(81) | 18.0(138) | 10.5(95) | 17.0(100) | 10(105) | 103.8 \pm 18.9 |
| 2 hr | 11.0(100) | 17.0(130) | 10.5(95) | 13.0(76) | 10(100) | 100.2 \pm 17.3 |
| 3 day | 11.0(100) | 9.0(69) | 10.0(90) | 7.0(41) | 9(90) | 78.0 \pm 21.1 |
| 1 wk | 9.0(81) | 6.5(50) | 8.0(73) | 6.0(35) | 7(75) | 62.8 \pm 17.4 |
| 2 wk | 13.0(118) | 16.0(123) | 13.0(118) | 13.0(76) | 10(105) | 108.0 \pm 17.0 |

** : The time when the wave from was normalized, % : $\frac{\text{each amplitude(mm)}}{\text{initial amplitude(mm)}} \times 100$,

* : S.D.=standard deviation

Table 2. Group II (thrombosed anastomosis)

| Time | Group 1 Amplitude mm(%) | 2 Amplitude mm(%) | 3 Amplitude mm(%) | 4 Amplitude mm(%) | Mean \pm S.D.* n=4(%) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Initial | 7.0(100) | 12.0(100) | 24.0(100) | 11.0(100) | |
| Exposure | 3.0(42) | 8.0(67) | 11.0(46) | 6.0(55) | 52.5 \pm 11.0 |
| Clamp | 1.0(14) | 0.5(4) | 1.0(4) | 1.0(9) | 7.8 \pm 4.8 |
| Immediate post-op | 3.0(42) | 1.0(8) | 2.0(8) | 2.0(18) | 19.0 \pm 16.0 |
| 15 min | 1.5(21) | 4.0(34) | 2.0(8) | 3.5(32) | 23.8 \pm 10.8 |
| 30 min | 4.0(57) | 2.0(17) | 1.5(6) | **1.0(9) | 22.3 \pm 20.5 |
| 45 min | 5.0(71) | 3.5(29) | **1.0(4) | 1.0(9) | 28.3 \pm 26.4 |
| 1 hr | **1.5(21) | **1.0(8) | 1.5(6) | 0.5(5) | 10.0 \pm 6.4 |
| 1 hr 15 min | 1.5(21) | 1.0(8) | 1.5(6) | 1.5(14) | 12.3 \pm 5.8 |
| 1 hr 30 min | 1.5(21) | 1.0(8) | 1.5(6) | 1.0(9) | 11.0 \pm 5.9 |
| 1 hr 45 min | 1.0(14) | 0.5(4) | 1.5(6) | 1.0(9) | 8.3 \pm 3.8 |
| 2 hr | 1.5(21) | 0.5(4) | 1.0(4) | 1.5(14) | 10.8 \pm 7.2 |
| 3 day | 1.5(21) | 1.0(8) | 1.0(4) | 2.0(18) | 12.8 \pm 7.0 |
| 1 wk | 2.0(28) | 1.5(13) | 1.5(6) | 2.5(22) | 17.1 \pm 8.5 |
| 2 wk | 1.0(14) | 1.5(13) | 1.5(6) | 2.5(22) | 13.6 \pm 6.0 |

** : The time when the thrombosis was formed, % : $\frac{\text{each amplitude(mm)}}{\text{initial amplitude(mm)}} \times 100$,

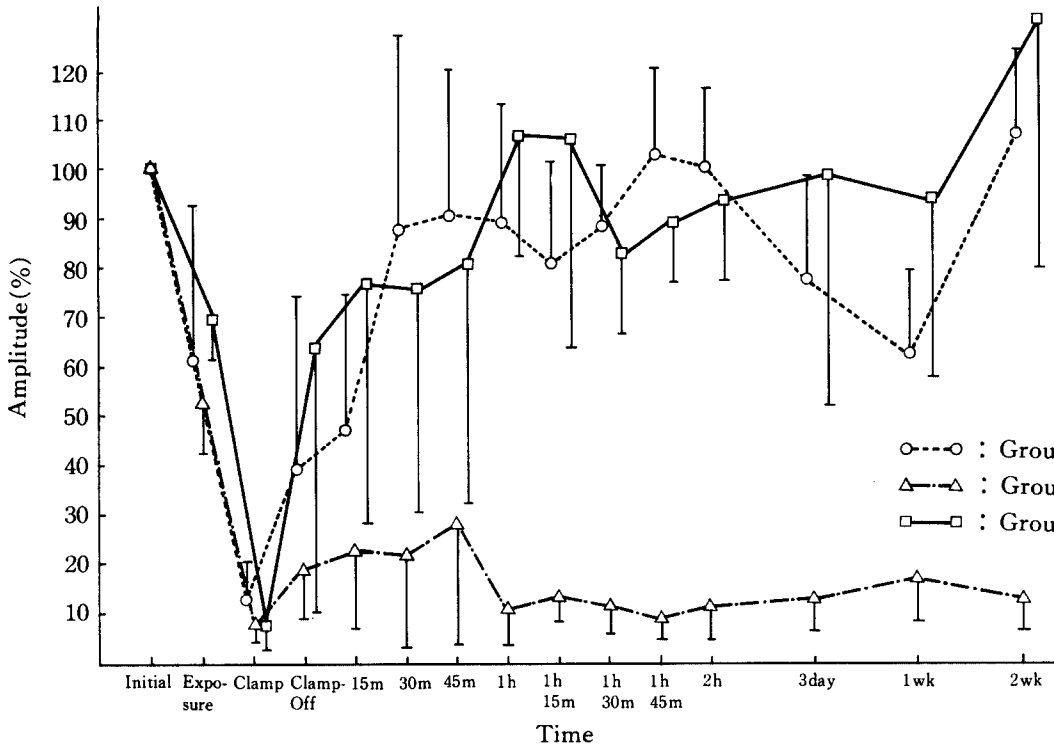
* : S.D.=standard deviation

Table 3. Group III(patent anastomosis)

| Group | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Mean± S.D.* |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| Time | Amplitude mm(%) | Amplitude mm(%) | Amplitude mm(%) | Amplitude mm(%) | Amplitude mm(%) | Amplitude mm(%) | n=6(%) |
| Initial | 11.0(100) | 13.0(100) | 6.0(100) | 15.(100) | 7.0(100) | 5.0(100) | |
| Exposure | 8.0(75) | 8.0(61) | 3.5(58) | 13.(87) | 5.0(71) | 3.5(70) | 70.0 ± 9.3 |
| Clamp | 1.0(9) | 0.0(0) | 0.0(0) | 1.(7) | 1.0(14) | 1.0(20) | 8.3 ± 7.2 |
| Immediate post-op | 5.0(45) | 2.0(15) | 5.0(83) | 8.(53) | 12.0(171) | 1.0(20) | 64.5 ± 52.6 |
| 15 min | 6.0(55) | 2.0(15) | 6.0(100) | 5.(34) | 10.0(142) | 6.0(120) | 77.7 ± 46.1 |
| 30 min | 5.0(45) | 3.0(23) | 8.0(134) | 4.(27) | 10.0(142) | 4.5(90) | 76.8 ± 48.4 |
| 45 min | 9.0(81) | 5.0(38) | **7.5(125) | 15.(100) | 5.0(71) | **3.5(70) | 80.0 ± 27.0 |
| 1 hr | 17.0(154) | **8.0(61) | 7.0(117) | 19.(126) | **6.0(86) | 3.0(60) | 100.7 ± 34.6 |
| 1 hr 15 min | 22.0(200) | 11.0(85) | 6.5(108) | 13.(87) | 6.0(86) | 3.5(70) | 106.0 ± 43.5 |
| 1 hr 30 min | **11.0(100) | 8.0(61) | 6.0(100) | **10.(67) | 7.0(100) | 3.5(70) | 83.0 ± 17.2 |
| 1 hr 45 min | 11.0(100) | 9.0(69) | 6.0(100) | 13.(67) | 7.0(100) | 4.5(80) | 89.3 ± 11.9 |
| 2 hr | 13.0(118) | 8.0(61) | 6.0(100) | 15.(100) | 6.0(86) | 5.0(100) | 94.2 ± 17.5 |
| 3 day | 4.0(36) | 7.0(54) | 8.0(134) | 12.(80) | 8.0(114) | 9.0(180) | 99.6 ± 48.9 |
| 1 wk | 10.0(91) | 6.0(46) | 6.0(100) | 8.(53) | 10.0(142) | 7.0(140) | 95.3 ± 37.5 |
| 2 wk | 11.0(100) | 11.0(85) | 9.0(150) | 11.(73) | 14.0(200) | 10.0(200) | 132.7 ± 52.0 |

******: The time when the wave form was normalized, % : $\frac{\text{each amplitude(mm)}}{\text{initial amplitude(mm)}} \times 100$,

*****: S.D.=standard deviation

**Fig. 6.** Comparison of mean amplitude of each group in time sequence.

과 제 3군에서 모두 술후 1시간 30분까지는 서로 불규칙한 진폭의 변화를 나타냈으나, 1시간 30분과 1시간 45분 사이에서는 비교적 일정한 진폭을 보였다.

술후 제 3일과 제 1주, 2주의 변화를 보면 제 3일에 제 1군에서는 진폭의 감소를 보였으나, 제 3군에서는 약간의 증가를 보여 두군의 변화가 상반되었다. 제 1주에서는 두군이 모두 감소를 나타내었다. 제 2주에서는 두군 모두 진폭이 증가하였으며, 실험전의 진폭보다 더 큰 진폭을 보였다(Fig. 6).

3. 동맥문합술 후 혈전형성

동맥문합술 후 혈전이 형성된 제 2군에서 혈전의 형성으로 혈류가 폐쇄된 시간은 평균 49 ± 12 분으로 모두가 1시간 이내였으며, 혈전이 생긴 경우에는 파경의 변화와 진폭의 감소로 매우 쉽게 식별되었다. 혈전이 형성된 이후의 진폭은 혈전형성군 제 1가토에서 술후 제 1주에 28%가 최대이다. 각 시간별로 t-검정한 결과 혈관문합술 후 45분까지는 유의한 차이가 없었으나, 1시간부터는 2주까지 모두 유의한 차이가 있었다.

고 찰

1960년 Jacobson 등¹⁷⁾이 새로운 미세혈관 수술의 결과를 발표하여 미세혈관 수술의 새로운 장을 연 이래 미세혈관 수술법은 현저한 발전을 하여 직경 0.5mm 이하의 혈관문합술을 시도하기까지 이르렀다¹⁸⁾. 이러한 미세혈관 문합술은 수지의 재접합술, 유리피부판 이식술, 생골이식술 및 뇌혈관 수술등에 이용되고 있다.

미세혈관 수술의 발달과 더불어 혈류상태를 진단하는 준침습적(semi-invasive) 및 비침습적인 진단법도 다양하게 발전하여 임상적으로 널리 이용되기에 이르렀다. 이러한 진단방법들중 흔히 사용되는 것으로서는 Doppler 초음파검사법이 있다. 이 방법은 piezoelectric crystal로부터 2~10MHz의 초음파를 피부를 통하여 조직내로 투과시킨 후 유동적인 혈구에 부딪혀 혈류의 속도에 비례하여 주파수가 변화되어 반사되는 초음파를 제 2의 crystal로 감지하여 측정하는 방법이다. 이 검사법은 혈류속도의 측정, 수축기 혈압측정, 혈관의 간접적인 영상화등을 목적으로 사용되며, 말초 동맥질환 및 정맥 질환과 뇌혈관 질환등을 비교적 정확하게 진단할 수 있다. 그러나 민감도(sensitivity)가 낮아서 혈액학적으로 혈류의 장애가 심한 경우에만 의미가 있으며, 또한

미세혈관의 혈류를 측정할 수 없고, 계속적으로 탐침기(probe)를 일정한 위치에 고정할 수 없다는 단점이 있어서 미세혈관 문합술 후에 사용하기에는 적합하지 않다^{4, 5)}.

방사선 동위원소를 이용한 진단법은 Kr^{84} , Xe^{133} , Tc^{99m} , Na^{22} 등의 방사성 동위원소를 소량 혈액내로 투입시킨 후, 혈관의 영상을 얻거나, 이식조직내에 축적 혹은 유실되는 비율(clearance rate)을 측정하거나, 또는 방사성 동위원소가 모체조직내로 분산되는 정도를 측정하는 방법이다. 이는 폐쇄성 동맥 질환에서 국소 근육혈류량 및 피부혈류량 측정에 이용되며, 심부정맥 혈전증등의 진단에는 매우 유용하다. 그러나 장비 및 측정비용이 고가이며, 계속적인 측정이 불가능하고, 특별히 훈련된 전문가를 필요로 하며, 반복하여 측정할 경우 방사성 동위원소의 노출에 의한 위험성이 따르므로 역시 미세혈관 문합술 후에 이용하기에는 부적합하다^{4, 6)}.

경피산소분압 측정법(percutaneous oxygen-tension monitor)은 작은 가열환(heater ring)에 싸여있는 chemo-electric transducer를 피부에 부착하여 경피산소 분압을 측정하여서 조직내의 혈류 확산을 간접적으로 보는 방법으로서¹⁹⁾ 수지 재접합술이나 유리피부판 이식술, 경상이식술(pedicle graft) 후 혈류유통의 관찰에는 사용될 수 있으나, 전극(electrode)이 halothane과 N_2O 등의 마취약물에 민감하여 술후 48시간 이내에 오차가 많이 생길 수 있다는 단점이 있다.

피부온도 측정법(temperature gauge)은 피부온도의 변화를 측정하여 간접적으로 혈류의 유통상태를 보는 방법으로 간단하게 수술후 성공여부를 판단하는데 사용할 수 있으나, 정확한 혈류 변화를 관찰할 수는 없는 단점이 있다.

상기 진단법들과 비교하여 볼 때 혈량계는 측정이 간단하며, 계속적인 측정이 가능하고, 누구나 쉽게 결과를 판독할 수 있으며, 가장 민감하게 혈류변화를 측정할 수 있는 장점이 있다. 혈량계는 광혈량계(PPG), 의력계기혈량계(strain-gauge plethysmography), 저항혈량계(impedance plethysmography) 등의 종류가 있으며, 본 실험에서는 이중에서 조작이 간편하여 정확도도 뛰어들어지지 않는 광혈량계를 이용하여 동맥문합술 후 혈류의 변화를 측정하였다.

광혈량계에 의하여 측정된 결과와 혈류량의 상관관계를 실험한 문헌을 보면 Barnes⁵⁾ 등은 상안와부(supra orbital)에서 광혈량계로 혈류를 측정하면서 경동맥의 압박과 혈류과의 진폭의 감소가 비례함을 보고 PPG를 경동맥 폐쇄증의 진단에 이용하였다.

Lee¹⁶⁾ 등은 37°C의 공기주머니를 이용하여 피부에 압력을 가하면서 광혈량계로 피부혈류를 측정 한 결과 압력의 증가와 함께 파형의 변화와 진폭의 감소를 관찰하였으며, 60mmHg에서 피부혈류가 막히면서 광혈량계의 혈류파가 비교적 평탄한 선을 그리는 것을 보았다.

Bendick 등⁸⁾은 정상인의 상지에서 상박부에 혈압계 cuff를 감겨 압력을 올리면서 Xe¹³³ clearance를 이용하여 전박부의 근혈류량을 측정하여 광혈량계 및 Doppler 초음파검사서 나온 진폭과 비교하였다. 압력을 가하지 않은 상태에서의 근혈류량(muscle blood flow)은 $3.02 \pm 0.64 \text{ ml/mm/100gm tissue}$ 이었으며, 혈압계의 압력을 이완기혈압-40mmHg로 올렸을 때의 혈류량의 $0.95 \text{ ml/min/100gm tissue}$ 로 떨어졌으며, 이때의 광혈량계의 진폭은 33% 떨어져 비슷한 변화를 보였으나, Doppler 초음파검사의 진폭에는 변화가 없어 광혈량계가 Doppler 초음파검사보다 혈류의 변화에 민감한 변화를 보임을 증명하였다.

Smith 등²¹⁾은 Bendick 등과 비슷한 실험을 통하여 전박부의 구획압력(compartment pressure)과 광혈량계의 진폭과의 상관관계를 비교하였다. 구획압력이 20mmHg까지는 진폭에 차이가 없었으나 30mmHg에서는 55%로 떨어졌으며, 80mmHg에 도달할 때까지 비례하여, 감소하여 13%까지 떨어졌다. 그는 광혈량계를 이용하여 손상을 받은 사지의 혈류 장애를 진단하는데 사용하였다.

본 실험에서는 가토의 대퇴 동맥을 노출만 시키고도 혈류파의 진폭이 실험전에 비하여 26.2%의 감소를 보였다. 이 결과는 Schonwetter 등²⁰⁾이 electromagnetic flow meter를 이용하여 측정한 가토의 대퇴동맥 노출시의 혈류감소량 17%보다는 다소 높다.

본 실험에서 혈관 문합술 후 2시간까지의 변화에서 정상 진폭으로 돌아온 평균시간 102 ± 16.4 분은 Schonwetter의 동일한 실험에서 평균 90분과 비슷한 양상을 보였다.

Bright 등⁹⁾은 절단수지 재접합술 후 혈류량의 변화를 volumetry로 측정한 결과 수술 제 1일에서 제 10일까지는 진폭이 감소하다가 그 이후에는 점차적으로 증가한다고 보고하였다. 본 실험에서는 제 1군에서 수술 제 3일과 1주에 진폭의 감소를 보였으며, 2주에는 기준치의 진폭보다 증가하여 상기 실험결과와 비슷한 양상을 보였으나, 제 3군에서는 수술 제 3일에 오히려 진폭이 증가하다가 1주에 약간 감소하였으며, 2주에는 다시 급격한 증가를 보였다. 즉 수술 제 3일에는 제 1군과 제 3군이 반대

의 결과를 보였고, 1주와 2주에는 비슷한 변화를 나타내었다.

파형의 변화는 진폭의 변화와 함께 말초동맥의 폐쇄정도 혹은 유무를 판단하는 중요한 지표가 된다. 폐쇄성 동맥질환의 경우 파형은 혈류의 진폭의 감소와 함께 상향경사(upslope)가 완만해지며, 정점은 넓어지고, 하향경사는 중복맥박(dicrotic wave)이 소실되며, 기준선의 반대쪽으로 볼록해진다. 이러한 혈류파형을 보일 때에는 혈류의 부분적인 폐쇄가 있다는 것을 의미한다²²⁾.

따라서 본 실험에서 진폭이 비정상일 경우에는 이 진폭을 정상진폭으로 간주하지 않았다. 수술 정상파형이 나타나기 전까지의 파형은 비동시적(asynchronous)이며 불규칙한 양상을 보이고, 많은 간섭파를 나타냈다. 그러나 일단 정상파형으로 돌아온 후에는 변하지 않았다. 따라서, 정상파를 보이다가 비정상파형으로 바뀐 경우에는 지연혈전증에 의한 혈류의 장애가 발생하였다고 해석할 수 있다.

Daniel¹⁹⁾은 임상에서 혈관문합술 후의 혈류의 유통성은 수술직후의 조기혈전 형성 및 2주의 지연혈전 형성을 각각 관찰한 후에 판단하여야 한다고 보고하였다. 본 실험에서 혈전 형성을 보인 경우는 모두 조기 혈전이었으며, 제 3군에서 수술 2주까지 지연혈전을 보인 경우는 한 예도 없었다. 혈전이 형성되었던 제 2군에서는 파형의 변화, 진폭의 감소로 혈전형성을 쉽게 판단할 수 있었다. 혈전이 형성된 경우의 혈류파의 진폭은 실험전에 측정한 기준진폭의 28%를 넘지 못하였으며, 약간의 진폭을 보인 것은 심부대퇴동맥을 통한 측부순환에 의한 것으로 판단된다.

요약 및 결론

가토의 대동맥 문합술 후의 혈류의 변화를 관찰하기 위하여 광혈량계로 측정하였다. 혈관점자만을 가하였던 제 1군 5마리, 혈전을 형성시켜 혈류를 폐쇄시켰던 제 2군 4마리 및 혈류가 2주까지 잘 유통된 제 3군 6마리에서 광혈량계로 파형과 진폭을 측정하여 혈류의 변화를 관찰한 결과 다음과 같은 결과와 결론을 얻었다.

1. 혈관점자 후 정상파형으로 돌아오기까지의 평균시간은 제 1군; 63 ± 24 분, 제 3군; 65 ± 18.7 분이었고, 두군 사이에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 일단 파형이 정상으로 돌아온 이후에는 계속 정상파형이 유지되었다.
2. 혈관점자 제거후 정상 진폭으로 돌아오기까지 평균 소요시간은 제 1군; 108 ± 11.2 분, 제 3군; 102

± 16.4분이었고, 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

3. 동맥문합술 후 혈전의 형성에 의한 혈류의 폐쇄는 모두 최장 1 시간 이내였으며(평균 49±12.4 분), 파형의 변화와 진폭의 감소로 혈전형성을 쉽게 발견할 수 있었다.

4. 본 실험을 통하여 저자들이 내린 결론은 가트의 대퇴동맥 문합술후의 혈류변화는 광혈량계로 정확하게 측정될 수 있었으며, 또한 임상적으로 동맥 문합술 후의 혈류관측에 광혈량계가 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- 1) 배상호 · 박재형 · 한만청 · 조보연 · 고창순 : 방사성 동위원소 정맥조영술의 진단적의의: X-선 정맥조영술과의 비교 연구. 대한핵의학회잡지, 제15권 제2호, 163-167, 1981.
- 2) 한만청 · 박재형 · 민병구 · 이승지 : Digital Subtraction Angiography의 진단적 가치. 대한의학회지, 제26권 제5호, 438-442, 1983.
- 3) Abramowitz, H.G., Flinn, W.R., Nora, P.F., Peterson, L.K., Bergen, J.J. and Yao, S.T. : The use of photoplethysmography in the assessment of venous insufficiency: a comparison to venous pressure measurements. *Surgery* 86: 434, 1979.
- 4) Barnes, R.W., Garrett, W.V., Slaymaker, E. E. and Reinertson, J.E. : Doppler ultrasound and supraorbital photoplethysmography for noninvasive screening of carotid occlusive disease, *Am. J. Surg.* 132:183-186, 1977.
- 5) Barnes, R.W. : Noninvasive diagnostic techniques in peripheral vascular disease. *Am. Heart J.* 97:241-258, 1979.
- 6) Bendick, P.J., Mayer, J.R., Glover, J.L. and Park, H.M. : A photoplethysmographic technique for detecting vascular compromise: A preliminary report. *J. Trauma* 19:398-402, 1979.
- 7) Bone, G.E. and Pomajzl, M.J. : Toe blood pressure by photoplethysmography: an index of healing in forefoot amputation. *Proceedings of the Symposium on Noninvasive Diagnostic Techniques in vascular disease, San Diego. Sept. 10-14, 1979.*
- 8) Bright, D.S. and Wright, S. : Postoperative management in replantation, *AAOS symposium on Microsurgery practical use in orthopedics*, 83-95, 1979.
- 9) Daniel, R.K. and Terzis, J.K. : *Microrascular surgical techniques, Reconstmctive Microsurgery. 1st Ed. pp 61-115, Boston. Little, Brown and Company, 1983.*
- 10) Fronek, A. : *Noninvasive techniques for the detection of peripheral arterial disease. Non-invasive diagnostic technique in vascular disease. 2nd pp 443-448, St. Louis. C.V. Mosdy Company, 1982.*
- 11) Hajjar, W.M. and Sumner, D.S. : *Photoplethysmography: A noninvasive technique for the evaluation of carotid steosis. Proceedings of the 12th Association for Advancement of Medical Instrumentation Meeting, Washington, D. C., 286, 1977.*
- 12) Harrison, D.H., Girling, M. and Mott, G. : *Experience in monitoring the circulation in free-flap transfers. Plast. Reconstr. Surg., 68: No 4:543-553, 1981.*
- 13) Harrison, D.H., Girling, M. and Mott, G. : *Monitoring the circulation in the free flap transter. Symposium on clical frontiers in reconstructive microsurgery, pp 399-407, St. Louis, The C.V. Mosby company, 1984.*
- 14) Hayes, J.E., Robinson, D.W. and Masters, F. W. : *A simple inexpensive method of evaluating circulation in pedicl d tissues. Plast. Reconstr. Surg., 42:141, 1969.*
- 15) Hertzman, A.B. : *The blood supply of various skin areas as estimated by the photoelectric Plethysmography. Am. J. Physiol.* 124: 328, 1938.
- 16) Lee, B.Y., Trainor, F.S., Kavner, D., Crisologo, J.A., Shaw, W.W. and Madden, J.L. : *Assessment of the healing potentials of ulcers of the skin by photoplethysmography. Surg Gynecol Obstet* 148:233-9, 1979.
- 17) Jacobson, J.H. and Suarez, E.L. : *Microsugery in the anastomosis of small vessels. Surg. Forum* 11:243, 1960.
- 18) Muir, I.F.K., Fox, R.H., Stranc, W.E. and Stewart, F.S. : *The measurement of blood flow by a photoelectric technique and its application to the management of tubed skin pedicles. Br. J. Plast. Surg., 1968, 21:14.*

- 19) Nielsen, P.E., Poulsen, N.L. and Gyntelberg, F.: *Arterial blood pressure in the skin measured by a photoelectric probe and external counter pressure. Vasa* 2:65, 1973.
- 20) Schonwetter, B.S., Seaber, A.V., Urbamiak, J. R. and Bright, D.S.: *Use of electromagnetic flowmeters in experimental microvascular surgery. AAOS symposium on Microsurgery practical use in orthopedics, pp 310-324, St. Louis, The C.V. Mosby Company, 1979.*
- 21) Smith, D.J., Bendick, P.J. and Madison, S.A.: *Evaluation of vascular compromise in the injured extremity: A photoplethymographic technique. J. Hand Surg., 9A:314-319, 1984.*
- 22) Trafford, J. and Lafferty, K.: *What does photoplethysmography measure? Medical and Biological Engineering and Computing, 479-480, Sept. 1984.*
- 23) Thorne, F.L., Georgiade, N.G., Wheeler, W. F. and Mladick, R.A.: *Photoplethysmography as an aid in determining the viability of pedicle flaps. Plast. Reconstr. Surg. 44:279, 1969.*
- 24) Trunipseed, W.D.: *The use of Digital Subtraction Angiography in the Diagnosis and Management of Lower-Extremity Vascular Disease the Ischemic Leg Year Book Medical Publisher, INL Chicago, 161-172, 1985.*
- 25) Webster, M.H.C. and Patterson. J.: *The photoelectric plethysmograph as a monitor of microvascular anastomoses. Br. J. Plast. Surg. 29:182-5, 1976.*