

# 항산화제로서 비타민 C가 적출된 쥐심장에서 허혈 및 재관류후 좌심실 기능회복에 미치는 영향

류한영\* · 이철주\* · 소동문\* · 최 호\* · 임상현\*\*

=Abstract=

## Effects of vitamin C as antioxidant on recovery of left ventricular function after ischemia and reperfusion in isolated rat heart

Han Young Ryu, M.D.\*, Cheol Joo Lee, M.D.\*, Dong Moon Soh, M.D.\*

Ho Choi, M.D.\*, Sang Hyun Ihm, M.D.\*\*

The large number of past investigation on extended myocardial protection clearly indicates that cold potassium cardioplegia and topical cooling have limited capabilities. Accordingly, more recent experimental approaches have focused on the modalities of reperfusion and their implication on postischemic myocardial recovery. Oxygen may play a crucial role in the development of ischemic and reperfusion injury. Reactive oxygen radicals may be produced during ischemia or reperfusion after incomplete reduction of molecular oxygen or from other pathway and then induce fatal injury of the heart. The important observation of oxygen-induced myocardial damage during reperfusion has led to the concept of applying oxygen free radical scavengers. So, this study is on dietary vitamin C supplementation as antioxidant in rats to determine whether or not they have a higher tolerance against cardiac ischemia-reperfusion injury under Langendorff system.

Male or female Sprague-Dawley rats(190-330g) were randomly separated into two groups. Group A was not treated (n=10). Group B received vitamin C supplement (n=10). Experiment was performed 24 hours after vitamin C 200mg fed orally as injectable ascorbic acid.

There were significant differences in contractile parameters between control and vitamin C-treated group. The RLVP(rate of post/preischemic left ventricular pressure) and Rdp/dt(rate of post/preischemic dp/dt) were significant statistically between two groups(p<0.05). But, RHR(rate of post/preischemic heart rate), time to first beat and stabilization were not significant.

In conclusion, pretreatment with the antioxidant, ascorbic acid, was found to preserve left ventricular contractile function. But the precise mechanism of action of ascorbic acid has not as yet been determined, so further study will be required.

(Korean J thorac Cardiovasc Surg 1996; 29:593-8)

**Key words:** 1. Myocardial protection  
2. Reperfusion injury  
3. Antioxidant

\* 아주대학교 의과대학 흉부외과학교실

\* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, School of Medicine, Ajou University

\*\* 연세대학교 의과대학 흉부외과학교실

\*\* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Yonsei University

# 본 논문은 1995년 10월 19일 대한 흉부외과학회 제27차 추계 학술대회에서 구연되었음

논문접수일: 95년 10월 23일 심사통과일: 95년 11월 28일

통신저자: 류한영, (442-749) 경기도 수원시 팔달구 원천동 산5번지, 아주대학교병원 흉부외과, Tel. (0331) 219-5752, Fax. (0331) 219-5750

Table 1. Krebs-Henseleit solution

Salts	mmol/l
NaCl	118.0
KCl	4.7
CaCl <sub>2</sub>	2.52
MgSO <sub>2</sub>	1.64
NaHCO <sub>3</sub>	24.88
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.18
glucose	5.55
Na pyruvate	2.0

## 서 론

재관류시 심근손상에 oxygen free radical들이 나쁜 영향을 미친다는 사실은 최근 여러 실험들에서 밝혀져 왔다<sup>1,2)</sup>. 따라서 이러한 심근손상을 방지하기 위해 여러가지 물질들의 투여가 시도되어 왔다<sup>3)</sup>. 이러한 물질들을 항산화제라 불러왔는데 여러 학자들에 의해 그 정의와 분류에 있어서 약간의 차이가 있었다<sup>4,5)</sup>. 대개 우리 인체에서 생성되는 항산화제와 경구투여되는 항산화제로 분류할 때 비타민 C, 비타민 E 그리고  $\beta$ -carotene 등은 후자에 속한다 하겠다. 이 중에서 비타민 C는 수용성 비타민으로서 혈장에서 아주 강한 항산화효과가 있다는 사실이 밝혀졌으며 비타민 E의 항산화작용에도 서로 상승효과가 있다고 하였다<sup>6)</sup>. 이에 본 교실에서도 흰쥐에게 항산화제로서 비타민 C를 경구투여한 후 Langendorff system을 이용하여 허혈 및 재관류시 좌심실 기능의 변화를 관찰하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 실험대상

대상은 체중 190-330g 사이의 Sprague-Dowley계 흰쥐 20마리를 암수구별없이 사용하였다. 편의상 비타민 C를 먹이지 않은 대조군을 Group A(n=10)라 하였고 200mg의 비타민 C를 먹인 실험군을 Group B(n=10)라 하였다. 실험군의 경우는 비타민 C 200mg을 경구투여한 후 24시간에 실험을 시행하였다. 실험에 사용된 비타민 C는 상품화된 주사용(Cantan, 2ml=100mg)으로서 경구투여가 가능한 약제이다.

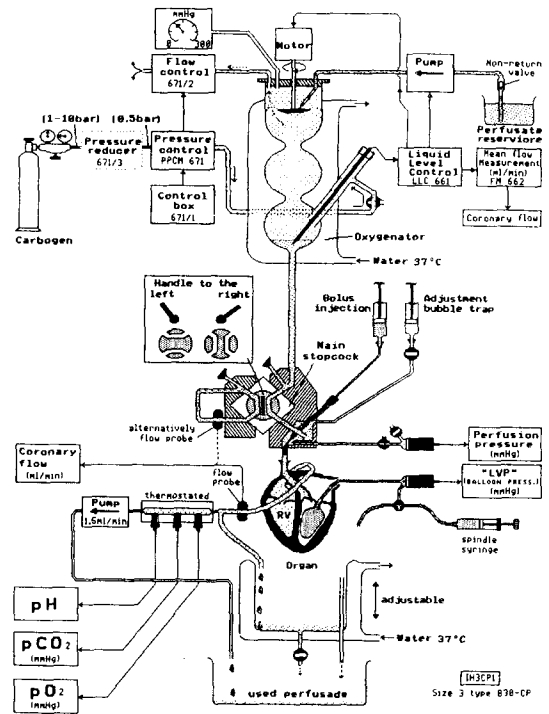


Fig 1. Langendorff heart at constant pressure

### 2. 실험방법

본 실험에 사용된 관류장치는 비작업성 Langendorff 관류장치(Hugo Sachs Elektronik, type 830, Germany, Fig. 1)로 관류액을 일정한 압력으로 대동맥을 통해 역관류시켰다. 실험에 사용된 관류액은 Krebs-Henseleit 중화액(Table 1)으로서 항온 순환기(JEIO TECH, model WBC 1520A)로 온수를 이중유리로 된 심장보온실과 산화기에 순환시켜 이를 실험 전과정중에 37°C의 온도로 유지시켰다. 또한 관류액을 Carbogen(95% oxygen과 5% CO<sub>2</sub>의 혼합기체)으로 기포화하여 PH를 7.4로 유지시켰다.

실험은 혈전형성을 방지하기 위해 Heparin 1000unit를 복강주사하고 pentobarbital sodium(30mg/kg body weight)을 복강주사하여 마취한 뒤 기관을 절개하고 호흡기로 기계호흡(1ml/0.1kg body weight, rate;45회/min)을 실시하였다. 복막으로 횡격막을 통해 양측 개흉과 함께 흉골을 들어 올린뒤 박동하고있는 심장을 신속하게 적출하였다. 적출된 심장을 미리 준비한 4°C의 관류액 안에서 상행대동맥에 대동맥관을 삽입하고 Langendorff 관류장치에 연결하여 krebs-Henseleit중화액을 관류시켰다. 심장 주위의 불필요한 조직을 제거하고 좌심방이의 일부를 제

**Table 2.** Post/preischemic LVP\*

	Mean	SD	p-value
Group A	.8891	.213	
Group B	1.1407	.223	.019

\* LVP : left ventricular pressure

**Table 3.** Post/preischemic dp/dt

	Mean	SD	p-value
Group A	.8958	.357	
Group B	1.3290	.348	.013

거한 다음 Latex balloon을 좌심방을 통해 좌심실로 삽입하여 이완기 압력이 10mmHg되게 팽창시켰다. Latex balloon에 연결된 금속 캐놀라를 압력변환기에 연결하여 Polygraph (Grass, model 7, U. S. A.)를 통해 심박동수, 좌심실압(LVP)과 심근수축력(dp/dt)을 측정하였다. 관류장치에 연결된 electromagnetic flowmeter를 통해 관상관류량을 모니터하였다. 적출심장을 20분이상 관류액으로 관류시킨 후 평형상태를 유지할 때 관류회로를 차단시키고 4℃의 심정지액(St. Thomas cardioplegic solution)을 70cmH<sub>2</sub>O의 압력으로 3분간 주입하고 정지된 심장을 30분간 허혈시켰다. 30분 후 Krebs-Henseleit 중화액을 20분 이상 재관류시키면서 재관류 후 첫 박동이 되는 시간 그리고 좌심실의 혈액학 지표가 일정하게 될 때까지의 시간을 측정하였으며 이 후의 심박동수, 좌심실압, 심근수축력을 관찰하여 허혈전 수치와 비교하였다.

### 3. 실험성적 분석

관류액을 관류시켜 안정된 평형상태를 유지하고 있는 적출심장의 좌심실압, 심근수축력, 심박동수를 기저치로 하고 재관류 후 혈액학 지표가 안정될 때의 수치를 기저치에 대한 비율로 표시하여 회복률을 비교하였다.

모든 측정치는 평균과 표준편차로 표시하였으며 두군의 회복률 비교를 위해 Student's unpaired t-test를 실시하였다. 유의수준을 0.05로 하여 p값이 0.05보다 작을 때 통계적 유의성이 있는 것으로 하였다.

## 결 과

### 1. 좌심실압

대조군인 Group A의 경우에는 허혈후 88.9% SD의 회

**Table 4.** Post/preischemic heart rate

	Mean	SD	p-value
Group A	1.0124	.131	
Group B	.9900	.117	.691

**Table 5.** First beat after reperfusion(second)

	Mean	SD	p-value
Group A	11.3000	9.866	
Group B	11.4000	10.543	.983

**Table 6.** Time to stabilization after reperfusion (second)

	Mean	SD	p-value
Group A	372.6000	174.142	
Group B	309.6000	155.182	.404

복률을 보였는데 비해 Group B는 114% SD의 회복률을 보여 통계적으로 유의한 소견을 보였다(Table 2).

### 2. dp/dt

심근수축력의 지표로 dp/dt를 측정하였는데 Group A의 경우에는 허혈후 평균 89.6% SD의 회복률을 보였으나 Group B는 132.9%±SD의 회복률을 보여서 역시 통계적으로 유의한 소견을 보였다(Table 3).

### 3. 심박동수

Group A가 101.2%±SD의 허혈후 심박동수의 회복률을 보여 99%±SD의 회복률을 보인 Group B보다 높은 회복률을 보였으나 통계적으로 유의한 소견은 보이지 않았다(Table 4).

### 4. 재관류후 첫 박동까지의 시간

Group A와 B가 각각 11.3초±SD, 11.4초±SD의 소견을 보여 두군이 비슷한 소견을 보였다(Table 5).

### 5. 재관류후 혈액학 지표가 안정될 때 까지의 시간

Group A가 372.6초±SD, Group B가 309.6초±SD로 실험군에서 더욱 신속히 안정되는 소견을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 6).

이상에서 좌심실압과 심근수축력에서는 통계적으로 유의한 회복률의 소견을 보였으나 그 외의 지표에서는 두군

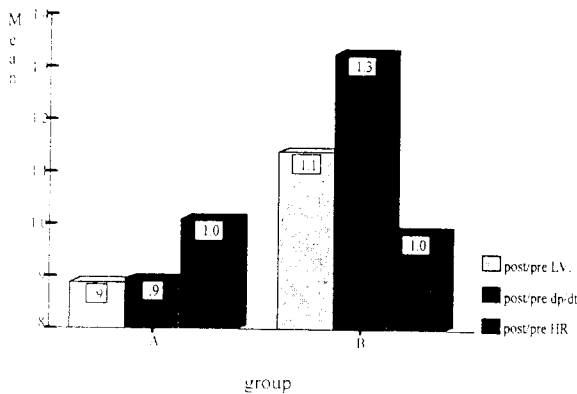


Fig. 2. Comparison of ratios

사이에 큰 차이가 없었다(Fig. 2).

## 고 찰

1953년 Gibbon이 체외순환을 이용한 개심수술을 처음 성공한 이후 국내외적으로 인공심폐기 및 인공산화기의 개선, 수술수기의 발달, 수술중의 심근보호법의 개선, 술 후 환자관리의 개선등에 힘입어 근래에는 개심술이 보편화되면서 그 성적도 크게 향상되어왔다<sup>7,8)</sup>. 하지만 체외순환시간이 지연되는 복잡심기형들의 교정이라든지 좌심실 기능이 현저히 저하된 관상동맥질환의 우회술, 혹은 원거리에서 공여되는 심장이식 등과 같은 경우에는 이와 같은 방법등이 아직 개선의 여지가 많으며 이에 대한 연구와 보고가 활발히 이루어지고있다<sup>3)</sup>. 특히, 심근 보호법에 대한 논란이 많은데 과거에 Daily 등<sup>9)</sup>이 개심술중의 심근보호법으로서 심근의 온도를 낮추는 몇가지 방법들에서 어떤것이 효과적인가를 비교하기도 하였지만 근래의 많은 조사는 저온의 고칼륨 심정지액 및 국소적 냉각에 의한 방법으로는 한계가 있다는 지적이 있다<sup>3)</sup>. 따라서 최근의 실험들은 술 전 전처치, 심정지액 및 관류용액에 여러가지 물질의 첨가, 재관류의 방법과 허혈후 심근회복에 그러한 방법들이 미치는 영향에 대하여 연구의 초점이 맞춰지고 있다<sup>3,5)</sup>.

개심술 중에 그리고 술 후에 허혈과 재관류에 의한 손상은 세포와 기관들의 biomembrane에있는 지질들이 free radicals에 의해 산화됨으로써 매개된다고 시사되어왔다<sup>5)</sup>. 이러한 reactive oxygen free radical들이 허혈 혹은 재관류 동안 만들어져서 심장에 치명적인 손상을 줄 수 있는데 이

러한 것들로는 hydroxyl radical, alkoxy radical, peroxy radical, hydrogen peroxide, superoxide anion radical, singlet oxygen, semiquinone radical, nitric oxide radical, peroxynitrite등이 있다<sup>4)</sup>. Free radical 생성의 증가는 직접 측정되기도하고<sup>10)</sup> 성공적인 혈전용해 혹은 혈관확장술 후에 환자의 심근에서 지질산화물질들이 보여짐으로써 간접적으로 측정되기도 한다<sup>11)</sup>. 이러한 임상연구들은 허혈 후에 재관류 동안 free radical이 생성되는 것을 보여주는 실험들<sup>12)</sup>을 뒷받침해 주고 있다. 여러가지 시도들<sup>3)</sup>이 이러한 재관류손상을 방지하기 위하여 행해지고 있는데 대표적인 수단들이 두가지가 있다. 첫째는 free radical의 형성을 방지하는 것인데 allopurinol등이 여기에 속하며 둘째는 생성된 free radical을 제거하는 것인데 vitamin E와 C가 여기에 속한다<sup>5)</sup>. Allopurinol은 hypoxanthine을 요산으로 변환시키는 xanthine oxidase의 경쟁적 억제물질로서, 심정지액에 allopurinol의 전처치를 하였을 경우 허혈성 심근손상의 예방적 효과를 나타낸다고 여러 실험들이 입증하고있다<sup>13, 14)</sup>. Malkiel 등<sup>15)</sup>은 allopurinol이 구리가 매개된 아스코르빈산의 산화물을 감소시켜서 비타민 C의 유익한 효과를 배가시킨다고 보고하였다. 지질에서 용해되는 비타민 E 또한 free radical scavenger로서 허혈과 재관류에 의한 심근의 손상을 방지하는데 비타민 C와 함께 있을때 상승작용을 하게 된다<sup>4,5)</sup>. Free radical치는 비타민 E와 반비례하므로 간접적으로 측정이 가능하다. 비타민 E의 경구투여가 관상동맥우회술에서 재관류동안 free radical의 상승을 방지했다는 보고도 있는데 특히, 높았던 비타민 E의 수치가 수술 후 낮아지는 것을 관찰할 수 있었으며 이는 비타민의 공급이 많으면 많을수록 그만큼 소비가 더욱 많이 된다는 것을 입증하게 하였다<sup>16)</sup>. 비타민 C는 free radical을 제거하는 능력과 비타민 E와 상호작용하는 기능으로써 free radical에 대항하는 방어기전을 갖는 중추적인 요소이며 세포 외액과 세포질에서 가장 효과적인 수용성의 항산화제이다<sup>6)</sup>. Sisto 등<sup>5)</sup>은 관상동맥우회술을 시행받는 환자들에게 술전 2일동안 그리고 술후 1일에 비타민 C를 투여하여 좋은 성적을 얻었다는 보고를 하였고 Frei등<sup>6)</sup>은 인체의 혈장에서 비타민 C가 가장 효과적인 수용성 항산화제임을 입증하였다. 본 교실에서도 실험 24시간전에 비타민 C를 경구투여하여 혈액학적으로 허혈 및 재관류시 좌심실기능 회복에 좋은 영향을 미치는 결과를 보였다. Sisto등<sup>5)</sup>의 예를 다시 살펴보면 비타민 C를 경구투여한 실험군보다 투여하지 않은 대조군에서 혈장의 비타민 C 수치가 더욱 낮은 소견을 보였는데 이는 항산화과정에서 비타민 C가 필요하였으며 대조군의 경우 공급이 부족하다는 사실을 나타내고있다.

Ames<sup>17)</sup>는 항산화제를 우리 인체내에서 생성되는 것과 경구투여되는 것으로 분류하였는데 인체내에서 생성되는 항산화제로는 catalase, bilirubin, urate 등이 있으며 이들은 간단한 방법의 의해 조절될 수가 없으나 외부에서 공급이 가능한 ascorbate(비타민 C),  $\alpha$ -tocopherol(비타민 E),  $\beta$ -carotene 등은 경구투여로 쉽게 증가가 가능하다고 하였다. Sies 등은 reactive oxygen species 들의 반감기에 따라 방어수단이 예방, 차단 그리고 개선으로 분류될 수 있다고 하였다. 예를 들어 반감기가 가장 짧은 hydroxyl radical은 예방이나 개선으로만 방어되는데 왜냐하면 차단으로 기능을 발휘하는 물질들은 너무 높은 농도가 있어야하기 때문에 삼투압으로 인해 생물학적으로 도저히 견딜 수가 없게 된다. 차단작용은 비타민 C나 비타민 E 같은 사슬을 차단하는 항산화제가 주로 담당하게 된다. 종종 항산화제라 함은 이 경우에 한정되어 쓰여지기도한다. 넓은 의미의 항산화제라 함은 산화될 수 있는 기질의 농도보다 더 낮은 농도 하에서 그 기질의 산화를 의미있게 지연시키거나 억제하는 어떠한 물질이다라고 하였다<sup>18)</sup>. 보통 개선은 효소의 기전을 통해서 일어나는데 이를테면 catalase나 glutathione peroxidase 들에 의해 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 제거와 같은 free radical 전구물질의 제거를 통해 방어하는 경우를 말한다<sup>19)</sup>.

저자들이 본 실험에서 이용한 Langendorff 장치는 정압형(constant pressure model)으로 일정한 hydrostatic pressure를 이용한 것으로 다른 형으로는 constant flow model 이 있다. Langendorff 순환회로는 비작업성(non-working Langendorff system)과 작업성(working heart perfusion system) 순환계로 나눌 수 있으며 비작업성 역류성 Langendorff system은 심장기능의 회복연구에 더욱 효율적이라고한다<sup>20)</sup>. 따라서 저자들도 비작업성 순환계로 실험을 하였으며 단점을 보완하기 위해 Latex balloon을 좌심실에 삽입하여 10mmHg의 좌심실 말기압을 유지하였다.

저자들은 적출된 쥐심장에서 비타민 C를 실험 24시간 전에 경구투여하여 허혈 및 재관류 후 좌심실의 기능회복에 좋은 영향을 미친다는 사실을 이번 실험을 통해 알았다. 그러나 아직까지 임상에 적용한 예는 극히 드물다. 따라서 더욱 자세하고 광범위한 실험 및 임상조사가 요구된다고 하겠다. 저자들의 경우, 비타민 E 그리고 비타민 C와 E를 혼합하여 경구투여함으로써 좌심실의 기능회복에 미치는 영향에 대하여 향후 조사해 볼 예정에 있다.

### 결론

적출된 쥐심장에서 비타민 C를 실험 24시간 전에 경구

투여하여 허혈 및 재관류 후 좌심실의 기능회복에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 좌심실압과 심근수축력의 회복률은 두 군 사이에 유의한 차이가 있었으며 모두 실험군에서 의의있게 높았다.
2. 심박동수의 회복률은 대조군에서 조금 높았지만 통계적 유의성은 없었다.
3. 재관류 후 첫 박동까지의 시간과 혈역학 지표가 안정될 때 까지의 시간은 두 군 사이에 큰 차이가 없었다.

### 참고 문헌

1. Stewart JR, Blackwell WH, Crute SL, Loughlin V, Greenfield LJ, Hess ML. *Inhibition of surgically induced ischemia/reperfusion injury by oxygen free radical scavengers.* J Thorac Cardiovasc Surg 1983;86:262-72
2. Gauduel Y, Duvelleroy MA. *Role of oxygen radicals in cardiac injury due to reoxygenation.* J Mol Coll Cardiol 1984;16:459-70
3. Jurmann MJ, Schaefer HJ, Dammerhayn L, Haverich A. *Oxygen-derived free radical scavengers for amelioration of reperfusion damage in heart transplantation.* J Thorac Cardiovasc Surg 1988;95:368-77
4. Sies H, Stahl W, Sundquist AR. *Antioxidant functions of vitamins. vitamin E and C, Beta-carotene, and other carotenoids.* Ann N Y Acad Sci 1992;669:7-20
5. Sisto T, Paajanen H, Metsa-Ketela T, Harmoinen A, Nordback I, Tarkka M. *Pretreatment with antioxidants and allopurinol diminishes cardiac onset events in coronary artery bypass grafting.* Ann Thorac Surg 1995;59:1519-23
6. Frei B, England L, Ames BN. *Ascorbate is an outstanding antioxidant in human blood plasma.* Proc Natl Acad Sci 1989;86:6377-81
7. McGoon DC. *The ongoing quest for ideal myocardial protection.* J Thorac Cardiovasc Surg 1985;89:639-53
8. Menasche P, Grousset C, Mouas C, Piwnica A. *A promising approach for improving the recovery of heart transplants.* J Thorac Cardiovasc Surg 1990;100:13-21
9. Daily PO, Pfeffer TA, Wisniewsk BS. *Clinical comparisons of methods of myocardial protection.* J Thorac Cardiovasc Surg 1987;93:324-36
10. Grech ED, Dodd NJF, Bellamy CM, Pervy RA, Morrison WL, Ramsdale DR. *Free-radical generation during angioplasty reperfusion for acute myocardial infarction.* Lancet 1993;341:990
11. Roberts MJD, Young IS, Trouton TG, et al. *Transient release of lipid peroxides after coronary artery balloon angioplasty.* Lancet 1990;336:143-5
12. Garlick PB, Davies MJ, Hearse DJ, Slater TF. *Direct detection of free radicals in the reperfused rat heart using electron spin resonance spectroscopy.* Circ Res 1987;61:757-60
13. Chambers DJ, Braimbridge MV, Hearse DJ. *Free radicals and*

- Cardioplegia : allopurinol and oxypurinol reduce myocardial injury following ischemic arrest.* Ann Thorac Surg 1987;44:291-7
14. Vinten-Johansen J, Chiantella V, Faust KB, et al. *Myocardial protection with blood cardioplegia in ischemically injured hearts : reduction of reoxygenation injury with allopurinol.* Ann Thorac Surg 1988;45:319-26
  15. Malkiel S, Har-El R, Schwalb H, Uretzky G, Borman JB, Chevion M. *Interaction between allopurinol and copper: possible role in myocardial protection.* Free Radic Res Commun 1993;18:7-15
  16. Cavarocchi NC, England MD, O'Brien JF, et al. *Superoxide generation during cardiopulmonary bypass: is there a role for vitamin E?* J Surg Res 1986;40:519-27
  17. Ames BN. *Dietary carcinogens and anticarcinogens. Oxygen radicals and degenerative diseases.* Science 1983;221:1256-64
  18. Halliwell B, Gutteridge JMC. *Free Radicals in Biology and Medicine.* 2nd ed. Oxford: Clarendon press. 1989
  19. Burton GW. *Vitamin E : molecular and biological function.* Proc Nutr Soc 1994;53:251-62
  20. 정언섭, 김승명. Langendorff 분리쥐 심모형에서 L-carnitine이 허혈성 심근에 미치는 효과. 대흉외지 1991;24:429-37

**=국문초록=**

과거에 심근보호에 대한 많은 조사는 저온의 고칼륨 심정지액 및 국소적 냉각에 의한 방법으로는 한계가 있다는 지적이 있었다. 따라서 최근의 실험들은 재관류의 방법에 따른 허혈 후 심근회복에 대하여 초점이 맞춰지고 있다. 재관류 시 산소에 의한 심근손상이 밝혀짐으로써 oxygen free radical scavenger에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 본 교실에서는 쥐에게 항산화제로서 비타민 C를 먹인 후 Langendorff system을 이용하여 허혈 및 재관류 시 좌심실 기능의 변화를 관찰하였다.

대상은 체중 190-330g의 Sprague-Dawley쥐를 암수 구별없이 사용하였다. 편의상 비타민을 먹이지 않은 대조군을 Group A(n=10)라 하였고 200mg의 비타민을 먹인 실험군을 Group B(n=10)라 하였다. 실험군의 경우는 비타민 C 200mg을 경구투여한 후 24시간에 시행하였다. 방법은 먼저 복강을 통해 헤파린과 펜토탈을 주입한 후 심장을 적출하여 Langendorff system에 거치하고 비운동성 역관류를 시켰다. 관류액은 변형된 Krebs-Henseleit solution을 사용하였다. 좌심실내에 풍선을 삽입하여 polygraph를 통해 좌심실의 혈역학적 기능을 관찰하였다. 먼저 20분간 심장이 안정될 때까지 기다린 다음 St. Thomas 심정지액으로 심정지를 시킨후 30분간 허혈시키고 다시 20분간 재관류시켰다. 각 Group에서 허혈전후의 좌심실압의 비, dp/dt의 비, 박동수의 비, 재관류 후 첫 박동 및 안정될 때 까지의 시간을 Group간에 비교하였다. 좌심실압의 비는 Group A가 평균 88.9%, Group B가 114%로 실험군이 유의있게 높았으며 역시 dp/dt도 Group A가 89.6%, Group B가 132.9%로 실험군이 유의있게 높았다. 그러나 박동수의 비, 재관류 후 첫 박동 및 안정될 때 까지의 시간의 비교는 통계학적 의의가 없었다.

결론적으로 항산화제로서 비타민 C는 허혈 및 재관류 시 좌심실 기능회복에 도움이 되었다. 그러나 향후 임상적 적용을 위해서는 더욱 자세하고 많은 실험이 요구된다.