

肺의 低温保存法이 肺機能 回復에 미치는 영향

이만복* · 김우종** · 강창희** · 이길노**

=Abstract=

Effect of Recovery of Pulmonary Function in Hypothermic Lung Preservation

Man Bok Lee, M.D.*, Woo Jong Kim, M.D.**, Chang Hee Kang, M.D.**, Khil Rho Lee, M.D.**

Hypothermia during lung preservation decreases metabolic processes. After the rabbit lung was flushed with modified Euro-Collins solution, heart-lung block was harvested and the left lung was assessed after ligation of the right pulmonary artery and right main-stem bronchus. Heart-lung block was immersed in the same solution for 6 hours. The modified Euro-Collins solution and storage temperature of group 1(10 cases) was 4°C, group 2(10 cases) was 10°C. On completion of the storage period, the left lung was ventilated and reperfused with blood which used a cross-circulating paracorporeal rabbit as a "biologic deoxygenator" for 60 minutes. Pulmonary artery pressure, airway pressure, difference in oxygen tension between inflow and outflow perfusate and degree of pulmonary edema were assessed at 10-minute intervals while the left lung was ventilated at 0.8 of the inspired oxygen fraction.

The mean pulmonary venous oxygen tensions at 10 and 60 minutes after reperfusion were 209.52 ± 42.46 and 103.48 ± 15.96 mmHg in group I versus 247.78 ± 36.19 and 147.91 ± 11.07 mmHg in group II ($p=0.049$, <0.0001). The mean alveolar-arterial oxygen differences at 20 and 60 minutes after reperfusion were 357.95 ± 12.84 and 437.31 ± 14.26 mmHg in group I versus 310.88 ± 33.47 and 390.93 ± 15.86 mmHg in group II ($p=0.0092$, <0.0001). The mean pulmonary arterial pressures at 10 and 60 minutes after reperfusion were 40.56 ± 18.66 and 87.22 ± 17.22 mmHg in group I versus 31.22 ± 6.84 and 65.78 ± 11.02 mmHg in group II ($p=0.048$, 0.0062). The mean pulmonary vascular resistances at 10 and 60 minutes after reperfusion were 2.69 ± 0.85 and 4.36 ± 0.86 mmHg/ml/min in group I versus 1.99 ± 0.39 and 3.29 ± 0.55 mmHg/ml/min in group II ($p=0.0323$, 0.0062). There were no difference between groups in peak airway pressure, lung compliance and degree of pulmonary edema.

In conclusion that preservation of lung at 10°C was superior to preservation at 4°C.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 1997; 30: 253-62)

Key words: 1. Organ preservation
2. Lung transplantation

*순천향대학교 구미병원 흉부외과학교실

*Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Soonchunhyang Kumi Hospital.

**순천향대학교 의과대학 흉부외과학교실

**Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Soonchunhyang University.

논문접수일: 96년 6월 3일 심사통과일: 96년 10월 8일

책임저자: 이만복, (140-743) 서울시 용산구 한남동 657-58 Tel. (02) 709-9281, Fax. (02) 795-2538

Table 1. Composition of modified Euro-Collins solution.

Na ⁺ (mmol/L)	10
K ⁺ (mmol/L)	115
Cl ⁻ (mmol/L)	15
HCO ³⁻ (mmol/L)	10
PO ₄ ⁻ (mmol/L)	58
Glucose(gm/L)	35
pH	7.3
Osmolarity(mOsm/L)	355

序 論

末期 肺疾患 환자의 근본적 치료방법으로 肺移植術이 개발되고 선택적으로 이루어지고 있다¹⁾. 그러나 임상적으로 널리 이용하기에는 寄贈臟器의 부족으로 제한을 받으며 또한 완벽한 폐장의 보존방법이 없기 때문에 원거리에서 후송문제와 시간적 제한이 있으나 확실한 肺臟保存方法이 개발된다면 폐이식술이 활발해질 것으로 기대된다. 현재 사용되고 있는 폐장보존방법은 單純低温法²⁾, 供與肺核冷却法³⁾ 및 肺洗滌法⁴⁾ 등이 개발되고 있으나 임상적으로는 안전한 虛血時間을 4~6시간으로 한정되고 있는 실정이다.

장기의 온도를 감소시키는 방법은 효과적으로 장기를 보존시키기 위한 주요요소이다. 장기가 虛血狀態로 되면 대사물질의 공급이 중지되고 해로운 代謝產物이 축적하게 되어 처음에는 조직이 가역적 損傷이 초래되지만 시간이 경과될수록 불가피하게 비가역적으로 변화하여 치명적인 손상을 일으키게 된다⁵⁾. 이와같이 과정은 化學的反應의 결과로 일어나게 되고 그 과정의 정도는 장기의 온도에 의해 좌우된다. 장기보존에 있어서 低温保存方法은 제한적이지만 에너지와 ATP의 소모를 감소 등의 대사과정을 낮추므로써 성공적으로 이런 조직손상의 정도를 감소시킬 수 있다. 임상적으로 腎臟保存의 적정온도는 6~10℃로 인식되고 있고⁶⁾, 心臟保存溫度는 10~15℃⁷⁾ 혹은 4℃⁸⁾를 선택하여 사용하고 있다. 肺臟은 Connaughton⁹⁾ 등과 Josef¹⁰⁾ 등이 실온보다 10℃로 저온보존한 것이 우수하다고 처음 발표하였으며 Kondo¹¹⁾ 등은 4℃에서 5시간 동안 보존시켜 좋은 성적을 얻었다고 하였다.

본 실험은 가토를 이용하여 摘出肺臟의 肺洗滌溶液과 摘出肺臟保存溫度를 4℃(제 1군)와 10℃(제 2군)로 나누어 6시간 폐장보존후 “生理的 脱酸素化器”로서 交叉體外循環 家兔을 이용한 保存肺臟의 灌流 및 換氣裝置로 재순

환시켜 각각의 보존온도에 따라 肺機能의 回復정도를 비교하고자 한다.

實驗材料 및 方法

實驗材料

외견상 건강한 흰색 家兔(New Zealand white rabbit)를 암수 구별없이 사용하였다. 실험은 다음과 같이 두 군으로 분류하여 시행하였다.

제 1군(10례): modified Euro-Collins 용액*과 적출폐장보존온도를 4℃로 유지

제 2군(10례): modified Euro-Collins 용액*과 적출폐장보존온도를 10℃로 유지

* modified Euro-Collins 용액(Table 1): 順天鄉大學病院 附設 玄岩研究所에서 제조

實驗方法

1. 心肺摘出

가토의 피하조직에 ketamine 35mg/kg와 atropine 0.25mg/kg 를 주사하여 麻醉前處置를 한 다음 산소 3L/분을 마스크로 흡입시키면서 thiopental sodium 25mg/kg와 heparin 700 IU/kg을 귀의 정맥에 주사하여 마취시켰다. 가토를 앙와위 자세로 취한 다음 경부 氣管切開를 하여 3.5 Fr의 기관내삽관을 삽입하고 인공호흡을 시작하였다. 人工呼吸方式은 통제형 기계호흡으로 일회 호흡량: 15ml/kg, 호흡수: 25 회/분, PEEP: 0.5cmH₂O, FiO₂: 0.8로 유지시켰다. 正中 胸骨切開를 하여 胸腺切除를 하고 심막을 절개하여 심장을 노출시킨 다음 主肺動脈에 silk 5번을 걸어놓고 우심실유출구에 purstring suture을 만든 후에 내경 3.0mm의 카놀라를 삽입하여 주폐동맥까지 진입시켰다. 氣道內壓과 肺動脈壓을 측정하고 동. 정맥혈가스분석을 위해 혈액을 채취하여 기초치의 기준으로 삼았다. 우심방과 좌심방에 약 5mm의 크기로 절개함과 동시에 주폐동맥을 카놀라를 포함시켜 결찰하고 肺洗滌溶液(modified Euro-Collins 용액) 60ml/kg을 30cmH₂O 압력으로 주입하였으며 이 때 소요되는 시간을 측정하고 만약 10분이상 소요되는 경우는 10분까지만 주입하였다. 肺洗滌溶液을 주입함과 동시에 양측 胸膜腔을 약 1cm 크기로 개방시켜 제 1 군은 4℃, 제 2 군은 10℃의 Ringer's lactate 용액을 흉막강내에 주입하여 흉막강내 온도를 감소시켰다. 폐장이 흡기말기에서 기관내삽관을 결찰시켜 폐팽창이 이루어진 상태에서 폐장의 손상없이 心肺摘出을 하여 우측 기관지 및 우측

폐동맥을 결찰시키고 폐장을 거즈로 감싼 다음 제 1군은 4℃, 제 2군은 10℃의 Euro-Collins 용액에 담구어 同一溫度로 6시간 동안 저장시켰다.

2. 生理的 交叉體外循環을 위한 준비

摘出肺臟을 재관류하기 40분 전에 心肺摘出し와 동일한 방법으로 마취하여 정중 흉골절개 및 심막절개를 하여 심장을 노출시킨 다음 우심실에 16 gauge needle을 삽입하여 저혈조와 연결하여 가토 2~3 마리에서 약 250~300 ml의 정맥혈을 채취한 다음 Fig. 1.과 같은 循環裝置의 연결관에 미리 혈액을 채워 놓았다.

심폐적출시와 동일한 방법으로 마취하여 경부 기관절개 및 기관내삽관을 삽입한 다음 人工呼吸을 유지시켰다. 좌측 內徑靜脈에 14 gauge needle을 삽입한 후 저혈조 1 번의 연결관과 연결시켜 혈액이 유입되도록 하고 우측 總腸骨靜脈을 노출시켜 14 gauge needle을 삽입하여 저혈조 2 번의 연결관과 연결하여 혈액이 유출되도록 하였다. 우측 경동맥에 21 gauge needle을 삽입하여 압력모니터에 연결하여 가토의 動脈壓이 지속적으로 감시되도록 하는 한편 직장내 溫度測定제子를 삽입하여 體外循環 동안에 직장온도가 36.5℃이상 유지되도록 하였다.

3. 재관류

각각의 온도에서 6시간 보존시킨 摘出肺臟을 꺼내서 25℃의 Ringer's lactate 용액에 담근 다음 좌심방과 우심방의 절개부를 봉합하고 上行大動脈을 결찰시키고 좌심실의 침부에 purse-string suture를 하여 내경 3.0mm의 카놀라를 삽입하여 재관류시 全身動脈血이 저혈조 1번으로 유입되도록 하였다. 기관내삽관을 인공호흡기에 연결시켜 統制型 機械呼吸方式으로 일회 환기량: 7.5ml/kg, 호흡수: 22회/분, PEEP: 0.5cmH₂O, FiO₂: 0.8로 유지시켰다. 再灌流을 시작하기 전에 sodium bicarbonate를 첨가시켜 pH를 7.4로 교정시킨 25℃의 Ringer's lactate 용액으로 폐세척을 30cmH₂O 압력으로 3분간 시행한 다음 體外循環裝置와 主肺動脈내 카놀라를 연결시켜 20ml/분의 관류속도로 1시간 동안 재관류시켰다.

4. 測定方法

심폐적출시 氣道內壓, 肺動脈壓 및 動. 靜脈血가스分析을 기초치로 측정하였다. 폐세척용액 즉 modified Euro-Collins 용액을 폐동맥에 주입하면서 폐동맥압을 매 1분 간격으로 측정하고 주입된 modified Euro-Collins 용액의 량과 소요된 시간을 측정하였다. 재관류후 1분 및 매

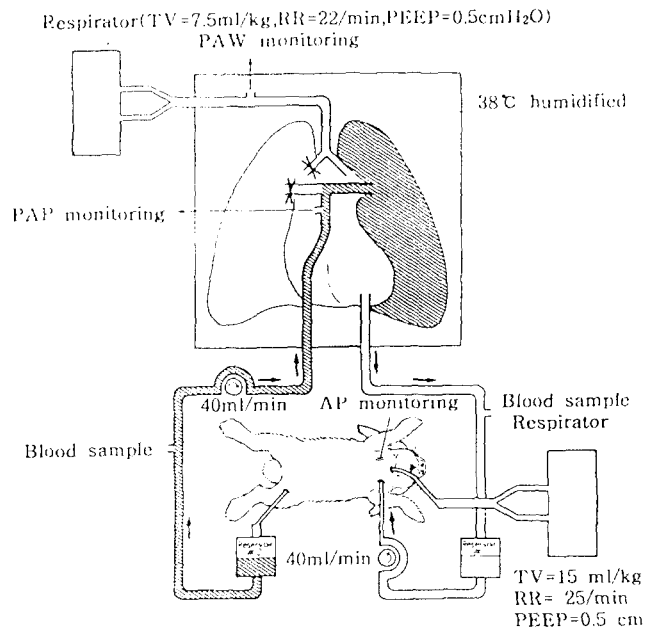


Fig. 1. Schematic diagram of paraceorporeal perfusion. TV; tidal volume, RR; respiratory rate, PEEP; positive end-expiratory pressure, PAW; peak airway pressure, PAP; pulmonary arterial pressure, AP; arterial pressure.

10분 간격으로 기도내압과 폐동맥압을 측정하였고 재관류 후 매 10분 간격으로 동. 정맥혈가스분석을 하였다. 재관류를 종료후에는 좌측 폐를 분리하여 濕氣重量과 80℃에서 36시간 건조시킨 후 乾燥重量을 측정하였다.

5. 成績分析方法

肺彈性度は 기도내압을 일회 환기량으로 나누어 계산하였다.

$$\text{폐탄성도(mmHg/ml)} = \text{기도내압} / \text{일회 환기량}$$

肺血管抵抗

modified Euro-Collins 용액 주입시는 평균 폐동맥세척압력을 폐세척량과 폐세척소요시간으로 나누어 계산하였다.

$$\text{폐혈관저항(mmHg/ml/min)} = \text{평균 폐동맥세척압력/세척량/세척소요시간}$$

재관류시 폐혈관저항은 폐동맥압을 분당 관류량으로 나누어 계산하였다.

$$\text{폐혈관저항 (mmHg/ml/min)} = \text{평균폐동맥압/분당 관류량}$$

肺胞-動脈 酸素分壓差

$$A-aDO_2 = \{ FiO_2 \times (760 - 47) - PaCO_2 \} - PaO_2$$

Table 2. Characteristics of the experimental population.*

Characteristics	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p value
Weight(gm)	2630±205.75	2710±119.72	NS
Op. time(min)	24.13±5.26	21.62±7.29	NS

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, Op.: operation = Heart-Lung bloc.

*mean±SD

Table 3. Changes of parameters during pulmonary flushing prior to preservation.*

Measurements	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p value
Flush pressure(mmHg)			
1(min)	21.25±1.67	19.78±5.02	NS
2	21.33±1.58	20.56±3.17	NS
3	21.11±1.96	19.83±2.04	NS
4	20.33±1.73	19.43±3.10	NS
5	20.33±1.94	18.75±3.50	NS
6	20.11±1.96	18.88±3.64	NS
7	19.78±2.22	18.38±3.96	NS
8	20.11±2.32	17.88±3.98	NS
Flush volume(ml)	135.33±21.79	147.27±6.47	NS
Flush total time(min)	9.56±0.73	9.38±0.92	NS

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, min: minutes, NS: not significant, * mean±SD

組織水分量은 습기중량에서 건조중량을 감한 수치를 건조중량으로 나누어서 계산하였다.

조직수분량(gm water/dry gm of lung) = (습기중량-건조중량)/건조중량
 水分含量은 습기중량에서 건조중량을 감한 수치를 습기중량으로 나눈 다음 백분율로 환산하였다.

수분함량(%) = (습기중량 - 건조중량) / 습기중량 x 100

본 실험의 心肺摘出에 이용한 가토는 총 20마리로 각 군별 10마리씩이었으며 체중은 4°C 보존온도(제 1군)는 2630±205.75 gm, 10°C 보존온도(제 2군)는 2710±119.72 gm으로 두 군간에 유의한 차이는 없었다. 심폐적출시 소요된 시간은 제 1군은 24.13±5.26 분, 제 2군은 21.62±7.29 분으로 두 군간에 차이가 없었다.(Table 2.)

統計學的 分析

각 군의 모든 측정치는 컴퓨터 통계처리프로그램(Graph PAD, Software, USA)을 이용하여 平均值와 標準偏差(mean SD)로 표시하였으며 unpaired, two-tailed t-test로 p 값을 구하고 0.05 이하의 경우를 유의한 것으로

Table 4. Changes of pulmonary venous blood-gas analysis during reperfusion periods.*

Times (FiO2:0.8)	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p value
PvO2(mmHg)			
Baseline	360.12±19.04	353.60±24.95	NS
Reperfusion			
10 min	209.52±42.46	247.78±36.19	0.049
20 min	180.10±15.66	220.71±44.31	0.0573
30 min	163.58±8.79	193.50±30.52	0.0115
40 min	150.46±21.08	174.11±19.62	0.0254
50 min	127.23±14.25	156.64±19.38	0.0017
60 min	103.48±15.96	147.91±11.07	<0.0001
PvCO2(mmHg)			
Baseline	39.84±5.36	39.30±4.80	NS
Reperfusion			
10 min	30.53±5.79	28.77±5.09	NS
20 min	32.35±3.67	34.12±6.66	NS
30 min	30.43±4.45	33.99±5.68	NS
40 min	28.52±4.32	31.69±3.35	NS
50 min	33.54±4.37	33.38±4.92	NS
60 min	31.14±5.48	31.56±4.92	NS

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, FiO2: Inspired oxygen fraction, PvO2: pulmonary venous oxygen tension, PvCO2: pulmonary venous carbon dioxide tension, min: minute, NS: not significant,

* mean±SD

하였다.

實驗 成績

肺保存溶液 주입시 變化

본 실험에서 이용한 폐보존용액은 modified Euro-Collins 용액으로 60 ml/kg를 30 cmH2O의 압력으로 10분간 주입하였으며 만약 10분이상의 시간이 소요될 경우는 10분까지 주입하였다. 폐보존용액 주입시 압력은 두 군 모두 시간이 경과될수록 감소하였으나 두 군간에 통계적 유의성은 없었으며 주입량은 제 2군(147.27±6.47 ml)이 제 1군(135.33±21.79 ml)보다 많고 주입동안 소요된 시간도 제 2군(9.38±0.92분)이 제 1군(9.56±0.73분)에 비해 적게 걸렸으나 주입량이나 주입소요시간은 두 군간에 차이는 없었다.(Table 3.)

再灌流前 肺洗滌量

Ringer's lactate 용액 1L에 sodium bicarbonate를 첨가

Table 5. Changes of pulmonary arterial blood-gas analysis during reperfusion periods. *

Times	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p Value
PaO₂(mmHg)			
Baseline	39.84 ± 5.36	36.70 ± 7.65	NS
Reperfusion(min)			
10	41.73 ± 6.64	38.54 ± 6.18	NS
20	36.26 ± 6.23	35.48 ± 8.11	NS
30	36.51 ± 10.09	36.29 ± 4.36	NS
40	38.18 ± 7.24	36.69 ± 4.95	NS
50	39.10 ± 7.73	36.79 ± 4.95	NS
60	35.40 ± 6.93	37.66 ± 5.42	NS
PaCO₂(mmHg)			
Baseline	42.51 ± 7.47	45.93 ± 6.35	NS
Reperfusion(min)			
10	37.46 ± 13.33	38.80 ± 10.20	NS
20	39.35 ± 10.16	47.65 ± 9.68	NS
30	40.96 ± 13.27	44.08 ± 10.76	NS
40	37.13 ± 9.53	43.36 ± 6.67	NS
50	41.67 ± 8.89	46.64 ± 10.52	NS
60	41.81 ± 9.05	47.56 ± 11.12	NS

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, PaO₂: pulmonary arterial oxygen tension, PaCO₂: pulmonary arterial carbon dioxide tension, min: minute, NS: not significant, * mean ± SD

하여 pH를 7.4로 만든 용액을 재관류하기 전에 폐동맥으로 30 cmH₂O의 압력으로 3 분간 폐쇄척을 하여 허혈기간 동안에 발생된 대사산물을 제거하였다. 사용된 폐쇄척량은 제 2군(39.40 ± 10.34 ml)이 제 1군(25.56 ± 10.31 ml)보다 많이 사용되었으나 두 군간에는 통계학적 차이는 없었다.

肺靜脈血液 가스分析

심폐적출시 기초검사한 肺靜脈血液의 酸素分壓은 제 1군이 360.12 ± 19.04 mmHg, 제 2군이 353.60 ± 24.95 mmHg로 두 군간에 차이가 없었으나 재관류후 매 10분간격으로 검사한 폐정맥혈액의 산소분압은 시간이 경과될수록 감소하였으나, 제 1군은 209.12 ± 52 mmHg에서 103.48 ± 15.96 mmHg를, 제 2군은 247.78 ± 36.19 mmHg에서 147.91 ± 11.07 mmHg를 보여 두 군간에는 통계학적으로 의미있는 차이가 있었다(p = 0.049 - < 0.0001).

폐정맥혈액의 二酸化炭素分壓은 재관류동안 두 군간에 통계학적으로 유의한 차이점은 없었다.(Table 4.)

Table 6. Changes of alveolar-arterial oxygen tension difference(mmHg) during reperfusion periods. *

Times	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p Value
Baseline	170.44 ± 13.68	177.50 ± 20.15	
Reperfusion			
10 min	333.79 ± 41.49	306.06 ± 39.54	NS
20 min	357.95 ± 12.84	310.88 ± 33.47	0.0092
30 min	375.64 ± 12.38	352.91 ± 28.94	0.0437
40 min	391.44 ± 20.78	364.60 ± 20.17	0.0134
50 min	409.62 ± 12.14	380.38 ± 21.42	0.0022
60 min	437.31 ± 14.26	390.93 ± 15.86	< 0.0001

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, min: minute, NS: not significant, * mean ± SD

肺動脈血液 가스分析

심폐적출시와 재관류 동안에 측정된 肺動脈血液의 酸素分壓과 二酸化炭素分壓은 두 군간에 유의한 차이가 없어 본 실험장치에 사용한 “生理的 脫酸素化器”로서 교환체의순환 가트를 이용한 보존폐장의 관류 및 환기장치에 의해 폐동맥에 공급되는 정맥혈액은 산소분압 및 이산화탄소분압이 정상치내에서 유지될 수 있었다(Table 5).

肺胞-動脈 酸素分壓差(A-aDO₂)

심폐적출시 폐포-동맥간 산소분압차는 제 1군이 170.44 ± 13.68 mmHg, 제 2군이 177.50 ± 20.15 mmHg 로 두 군간에 차이가 없으나 재관류후부터는 두 군 모두 시간이 경과될수록 폐포-동맥간 산소분압차가 점진적으로 증가하였다. 재관류 10분은 두 군간에 통계학적 유의성은 없었으나 재관류 20분부터 종료시까지 제 1군은 357.96 ± 12.84 mmHg에서 437.31 ± 14.26 mmHg를, 제 2군은 310.88 ± 33.47 mmHg에서 390.93 ± 15.86 mmHg를 보여 두 군간에는 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(p = 0.0092 - < 0.0001)(Table 6.).

肺動脈壓

심폐적출시 측정된 폐동맥압은 제 1군이 9.22 ± 3.27 mmHg, 제 2군이 9.90 ± 2.33 mmHg로 두 군간에 차이가 없었다. 재관류시 肺血流量은 물러펌프를 이용하여 좌측 폐동맥으로만 관류속도를 20ml/kg로 유지시켰으며 폐동맥압은 관류시간이 경과될수록 두 군 모두 상승하였다. 제 1군은 폐동맥압이 재관류동안에 40.56 ± 18.66 mmHg에서 87.22 ± 17.22 mmHg를, 제 2군은 31.21 ± 6.84 mmHg

Table 7. Changes of pulmonary arterial perfusion pressure (mmHg) during reperfusion periods. *

Times	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p Value
Baseline	9.22±3.27	9.90±2.33	NS
Reperfusion (min)			
1	40.56±18.66	31.21±6.84	0.048
10	53.78±16.94	39.90±7.89	0.0323
20	53.11±9.21	42.60±8.89	0.0216
30	58.67±11.57	49.20±7.19	0.0447
40	64.67±10.54	55.50±9.16	0.0123
50	73.67±11.47	59.90±8.59	0.0084
60	87.22±17.22	65.78±11.02	0.0062

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, min: minute, NS: not significant, * mean±SD

Table 8. Changes of pulmonary vascular resistance (mmHg/ml/min) during reperfusion periods. *

Times	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p Value
Reperfusion (min)			
1	2.03±0.93	1.56±0.34	0.048
10	2.69±0.85	1.99±0.39	0.0323
20	2.66±0.46	2.13±0.44	0.0216
30	2.93±0.58	2.46±0.36	0.0447
40	3.23±0.53	2.78±0.46	0.0123
50	3.68±0.57	2.99±0.43	0.0084
60	4.36±0.86	3.29±0.55	0.0062

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, min: minute, * mean±SD

에서 65.78±11.02 mmHg를 보여 두 군간에는 유의한 차이가 있었다(p = 0.048-0.0062).(Table 7.)

肺血管抵抗

재관류 동안에 폐혈관저항은 제 1군이 2.03±0.93 mmHg/ml/min에서 4.36±0.86 mmHg/ml/min를, 제 2군은 1.56±0.34 mmHg/ml/min에서 3.29±0.55 mmHg/ml/min를 나타내어 두 군간에는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(p=0.048-0.0062)(Table 8).

氣 · 内壓

심폐적출시 측정된 기도내압은 제 1군이 16.45±2.18 cmH₂O, 제 2군이 15.52±2.24 cmH₂O로 두 군간에는 차이

Table 9. Changes of peak airway pressure(cmH₂O) during reperfusion periods. *

Times	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p Value
Baseline	16.45±2.18	15.52±2.24	NS
Reperfusion (min)			
1	19.74±2.91	18.54±3.15	NS
10	19.44±3.22	18.29±2.99	NS
20	19.26±2.82	18.82±3.21	NS
30	20.06±3.37	19.17±3.24	NS
40	20.70±3.48	19.61±3.59	NS
50	21.76±3.80	20.77±3.72	NS
60	22.41±3.47	22.70±3.72	NS

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, min: minute, NS: not significant, * mean±SD

Table 10. Changes of lung compliance(cmH₂O/ml) during reperfusion periods. *

Times	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p Value
Baseline	0.39±0.04	0.42±0.07	NS
Reperfusion(min)			
1	0.95±0.15	0.93±0.16	NS
10	0.97±0.16	0.94±0.15	NS
20	0.97±0.15	0.94±0.16	NS
30	1.00±0.17	0.96±0.16	NS
40	1.04±0.17	0.98±0.18	NS
50	1.09±0.19	1.04±0.19	NS
60	1.12±0.17	1.14±0.19	NS

Group 1: group of 4°C lung preservation, Group 2: group of 10°C lung preservation, min: minute, NS: not significant, * mean±SD

가 없었다. 재관류시의 기도내압은 좌측 기관지로만 인공호흡시켜 측정된 수치로 두 군 모두 점진적으로 상승하였지만 두 군간에는 통계학적으로 유의성은 없었다(Table 9).

肺彈性度

심폐적출시 검사한 폐탄성도는 제 1군이 0.39±0.04 cmH₂O/ml, 제 2군이 0.42±0.07 cmH₂O/ml 으로 두 군간에 차이는 없었다. 재관류시는 우측 주기관지를 결찰시켜 좌측 기관지로만 인공호흡을 시켰으며 이의 폐탄성도는 재관류 시간이 경과됨에 따라 점진적인 상승을 하였으나 두 군간에는 재관류 동안에 통계학적 유의성은 없었다 (Table 10.)

肺浮腫

재관류를 종료한 후 동일한 조건으로 좌측 폐를 떼어 濕氣重量을 측정하고 80℃에서 36시간 건조시킨 후 乾燥重量을 측정한 결과 組織水分量은 제1군이 9.28±2.55 gm/dry gm, 제 2군이 8.02±2.36 gm/dry gm으로 제 2군이 제 1군에 비해 적었으나 통계학적 의미는 없었고 水分含量은 제 1군이 87.64±2.66%, 제 2군이 88.98±3.11%로 두 군간에 통계학적 유의성은 없었다(Table 11).

考 察

末期 肺疾患 환자의 근본적 치료방법으로 肺移植術이 확립되고 선택적으로 이루어지고 있다¹¹. 성공적인 첫 폐이식술은 虛血時間을 단축시키기 위해 장기 기증자를 이식센터로 옮겨 장기를 적출하였으나 이는 倫理 및 經濟의 어려움이 있다고 할 수 있겠다. 그러므로 장거리에서도 폐장 적출이 가능토록 장시간 장기보존할 수 있는 保存方法이 요구되고 있다¹². 그러나 현재까지 많은 연구에도 불구하고 인간의 同種 肺移植에서 6시간이상 摘出肺臟을 보존할 수 있는 방법이 개발되지않고 있는 실정이다.

임상적으로 肺臟保存方法은 單純洗滌灌流法이 가장 흔히 사용되는 보존방법이며 Toronto 폐이식센터¹³에서는 局所冷却法을 추가적으로 사용하고 있다. 이 방법은 사용방법이 단순하고 폐장을 급속도로 효과적으로 냉각시킬 수 있을 뿐 아니라 용액내에 필요한 有效成分의 첨가가 용이하며 유해한 血液成分을 씻어낼 수 있으며 타 장기 적출팀에게 방해가 되지않는 잇점이 있으나 栓塞症, 冷却과 注入量의 관계 및 충분한 呼吸狀態유지 등의 문제가 있다고 하겠다.

폐보존방법중 중요한 요소는 肺洗滌溶液 혹은 肺臟貯藏溶液이다. 현재 사용되고 있는 용액은 폐장보다는 다른 장기의 보존을 위해 개발된 것이다. 예를들면 Euro-Collins 용액은 腎臟을 위해¹³, University of Wisconsin 용액은 脾臟을 보존하기 위해 개발되었다¹⁴. 폐장은 폐포내의 산소를 이용하는 장기이므로 好氣性 代謝作用을 유지시켜야 하기 때문에 폐보존을 위한 용액도 달리 개발되어야 할 것이다¹⁵. 현재 사용되는 용액중 Euro-Collins 용액과 University of Wisconsin 용액은 고포타슘 저나트륨 농도로 細胞內溶液이고, Fujimura 용액¹⁶ 또는 Low-potassium-dextran 용액¹⁷은 細胞外溶液이다. 임상적으로는 Euro-Collins 용액이 가장 흔히 사용되고 있으며 이 용액은 에너지 저장의 유지, 細胞浮腫의 예방 및 포타슘 손실의 예방

Table 11. Comparison of pulmonary edema of both group. *

Measurements	Group 1 (n=10)	Group 2 (n=10)	p Value
Left lung (gm) Wet	10.16±2.96	9.61±1.68	NS
Dry	1.25±0.41	1.08±0.26	NS
Tissue water (gm/dry gm)	9.28±2.55	8.02±2.36	NS
Water content(%)	87.64±2.66	88.98±3.11	NS

Group 1: group of 4℃ lung preservation, Group 2: group of 10℃ lung preservation, min: minute, NS: not significant, * mean±SD

등의 藥理作用이 있으며 본 실험에서도 modified Euro-Collins 용액을 이용하여 肺洗滌 및 摘出肺臟의 보존용액으로 사용하였다. 적출폐장이 장시간동안 적정하게 보존되려면 보존용액이 폐장에 균등하게 분포되어야 하는데 고농도 포타슘 농도의 Euro-Collins 용액으로 폐세척시에 肺動脈血管收縮이 일어나서 肺血管抵抗이 증가되어 세척용액이 폐장에 불균일한 분포가 발생되므로 prostaglandin이나 prostacyclin을 부가적으로 투여하여 폐장이 冷却洗滌灌流시 발생하는 폐혈관수축을 예방함으로써 폐장내로 보존용액이 고루 분포되게 할 수가 있다¹⁸. 그러나 본 실험에서는 prostaglandin 약제 투여시 발생하는 효과에 의해 본래의 保存溫度에 따른 肺機能 回復에 어떤 영향을 미칠 가능성이 있으므로 prostaglandin 약제 투여를 배제하였다. 반면 Toronto 팀¹³은 세포외용액인 Low-potassium-dextran(LPD) 용액을 개발하여 18시간 虛血保存후에 Euro-Collins 용액과 비교하였을 때 더 좋은 보존효과를 보였다고 한다. Low-potassium-dextran 용액은 칼슘이 없기 때문에 폐세척시 세포외액의 칼슘농도를 감소시키게 되므로 肺血管收縮을 예방할 수 있으며, 용액내 함유되어 있는 dextran이 콜로이드 삼투압제로 작용하여 肺浮腫을 감소시켜 재순환시 폐기능을 개선시키고 血液凝集을 예방함으로써 보존 폐에서 微細血流通環을 증진시킨다고 하였다¹⁹. 최근 임상에서 心臟, 肝臟, 腎臟 및 脾臟 保存溶液으로 사용되는 University of Wisconsin(UW) 용액이 폐보존용액으로도 이용됨으로서 다장기 적출시 한가지 보존용액만을 사용할 수 있으며 이 용액내 성분중 lactobionate, raffinose 및 hydroxyethyl starch가 저온시 細胞浮腫을 억제하는 작용이 있다고 한다²⁰.

폐세척액이 폐장에 분포되는 정도는 관류용액의 포타슘 농도, 온도, 관류지수 및 관류량등에 의해 영향을 받는다. 폐세척시 중력을 극복하고 폐장의 상부까지 도달할 수 있는 충분한 灌流壓이 필수조건이다. 양와위 자세에서

는 폐장의 후측부위의 혈류가 전방부위보다 많게 된다. 더 우기정상조건하에서 폐동맥압이 증가되면 폐혈류가 없어도 모세혈관이 개폐되어 폐혈관저항이 감소된다. 그러므로 폐장에 洗滌溶液이 균등한 분포를 이루기 위해서는 관류압이 휴식시 정상 폐동맥압보다 높게 유지하여야 하나 관류압이 너무 높으면 肺浮腫의 위험이 있다. 그러나 높은 팽창압을 가진 용액을 사용하면 그 정도를 다소 감소시킬 수 있다고 한다.

폐장보존에 있어서 低温保存方法은 대사기능을 감소시키기 위한 중요한 방법이다. Connaughton⁹⁾ 등과 Josef¹⁰⁾ 등이 실온보다 10℃로 폐장저온보존한 것이 우수하다고 처음 보고한 이래 Kondo¹¹⁾ 등이 Sacks 용액으로 폐세척후 4℃에 5시간동안 보존시켜 실온보존보다 좋은 성적을 얻었다고 비교하여 발표하였다. 그러나 영하의 온도로 보존하게 되면 광범위한 形態學的 機能的 損傷을 초래하게 된다. 장기는 실온보다 저온으로 보존하는 것이 효과가 좋다는 것은 주지의 사실이다. 그러나 저온보존으로 오는 효과는 복잡적이다. 저온보존시 일반적으로 알려진 효과는 대사과정을 지연시키는 것이지만 저온으로 인해 結合阻止反應經路와 해로운 代謝産物의 생성 등의 가능성도 있게 된다²¹⁾. Elford²²⁾는 개 실험에서 체온을 37℃에서 20℃로 냉각시키는 동안은 赤血球내로 소듐 유입이 증가하다가 그 이하의 온도로 더욱 냉각시키면 유입이 감소되는 반면 포타슘 유입은 12℃에서 최소로 유지되다가 그 이하의 온도로 더욱 냉각시키면 유입이 증가하였다고 한다. 이와같은 현상을 보아 소듐, 포타슘 및 수분이 溫度의 영향을 받아 독립적인 기전으로 적혈구막을 통과하여 이동하는 것을 알 수 있다. 腎臟保存의 적정온도는 6~10℃로 인식되고 있다⁶⁾. 心臟保存 온도는 10~15℃⁷⁾ 혹은 4℃⁸⁾를 선택하여 사용하고 있다. 폐장은 局所冷却法 단독으로 4℃에서 한시간이상 견딜 수 없다고 한다²³⁾. 그러나 일반적으로 肺臟虛血은 정상온도보다 저온조건하에서 더 잘견딘다고 하여 4℃ 용액에 보존하여 운반시킨다. 그러나 Wang²⁴⁾의 논문에 의하면 기능적으로 폐장은 23℃ 혹은 실온보존보다 저온보존(4℃~15℃)이 우수하였으며, 24시간동안 4℃ 또는 15℃보다 10℃에서 보존한 폐장이 가장 虛血에 잘 견딘다고 하였다. 또한 폐보존 적정온도가 10℃ 일 때는 적으나 肺臟代謝過程을 유지시키므로 더 좋은 폐보존을 할 수가 있으며 Cooper²⁵⁾는 폐보존용액에 1% 포도당을 첨가하여 우수함을 보고하였고, Kirk¹²⁾ 등은 glutathione을 첨가하여 중요한 대사기질 뿐 아니라 강력한 遊離酸素除去劑로서 효과를 얻었다고 한다. 본 실험에서도 modified Euro-Collins 용액을 사용하여 폐보존을 하였으며 보존온

도가 10℃일 때가 4℃보다 우수한 보존효과를 보았다.

폐보존시 폐장을 부풀린 상태에서 보존하는 것이 더 좋다는데는 의심할 바가 없으며^{26, 27)} 肺血管抵抗은 폐장이 팽창되었을 때 더 낮으며 폐보존용액을 관류시 균일하고 적절한 냉각온도를 얻을 수 있게하기 위해 換氣시켜야 하고 폐순환이 없는 상태에서 폐장을 환기시키면 폐장내 adenosine triphosphate의 감소와 에너지 의존적 Na⁺-K⁺ 이동의 감소를 적게하여 준다. 그러나 폐장을 보존 및 운반시 계속 환기시키는 방법²⁷⁾이 시도되었으나 오히려 그 방법은 번거롭고 방해가 될뿐 폐장을 부풀린 상태로 보존시킨 것보다 장점이 없다고 하였다. 폐장을 환기 및 보존하는 적정 가스배합체는 아직 잘 알려져있지 않으나 초장기 실험에서는 100% 산소가 해로운 것이라 생각하고 실내공기나 100% 질소로 환기시켰으나 Weder²⁸⁾와 Date¹⁵⁾ 등은 100% 산소로 부풀려 폐보존시 폐포내 존재하는 산소를 이용하여 보존시간 동안에 대사과정을 유지시키고, Na⁺-K⁺ 펌프와 같은 基本細胞機能을 유지하여 폐장을 보존하는 동안에 일어날 수 있는 細胞浮腫의 정도를 감소시켜 조직의 최적인 生命力을 유지시키는 데 필수적이라고 하였다. 또한 폐장을 산소가 없는 상태로 보존시켜 보았는데 肺損傷이 확실히 발생되었으며 산소유리기의 생성을 없도록 함으로서 오는 장점도 명백히 발견되지 않았다고 한다²⁸⁾. 이의 반대적 論難으로는 虛血 및 再灌流 동안에 고농도의 산소공급을 하면 酸素遊離基의 생성을 유발시켜 肺浮腫의 원인이 된다고 하며²⁹⁾, 100% 산소가 폐장의 母細血管 內皮細胞를 손상시키게 되고 이런 현상은 폐부종이 출현하기 전부터 발생되어 가스교환을 더욱 악화시키게 된다고 하였다³⁰⁾.

Wang⁴²⁾ 등은 가토를 이용한 摘出肺臟의 循環換氣 모델을 개발하였으며 이 실험모델은 다양한 보존법에 대한 신속한 평가를 할 수 있게끔 설계되었으나 주 단점은 재순환 시간의 제한이다. 이 방법은 단시간의 관류를 위해 대량의 同種血液이 필요하므로 상대적으로 짧은 실험시간 즉 10분 밖에는 이용할 수 없는 것이다. 이 단점을 보완하기 위해 본 실험에 사용된 모델은 “生理的 脫酸素化器”로서 交叉體外循環 家兎를 이용한 보존폐장의 灌流 및 換氣裝置로 생존해있는 가토의 정맥에 카눌라를 통해 최소 1시간 정도는 안정된 정맥혈을 일정하게 공급받을 수 있었다.

結論으로 본 실험에서 가토의 摘出肺臟 保存溫度에 따른 결과와 같이 10℃의 폐세척용액과 폐장보존 온도가 4℃보다 재순환시 폐기능의 회복이 우수함을 나타내어 앞으로 이에 대한 臨床的 經驗 및 應用이 있어야 할 것이다.

結 論

참 고 문 헌

著者は 家兎의 摘出肺臟保存實驗의 모델을 이용하여 폐 세척용액과 폐장보존용액의 溫度를 제 1군은 4 °C로 제 2군은 10 °C로 하여 6시간동안 적출폐장보존후에 再灌流시켜 각각의 온도차이에 따른 肺臟保存效果를 비교 실험하였으며 각 군은 10례씩으로 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 再灌流후 매 10분 간격으로 검사한 肺靜脈血酸素分壓은 두 군 모두 시간이 경과될수록 감소하였으나 제 1군은 209.52±42.46 mmHg에서 103.48±15.96 mmHg를, 제 2군은 247.78±36.19mmHg에서 147.91±11.07 mmHg를 보여 두 군간에는 통계학적 유의성이 있었다 (p=0.049 - <0.0001).
2. 肺胞-動脈間 酸素分壓差는 재관류동안에 두 군 모두 시간이 경과될수록 점진적으로 증가하였으며 재관류 10분은 두 군간에 통계학적 차이는 없었으나 재관류 20분부터 종료시까지 제 1군은 357.96±12.84mmHg에서 437.31±14.26 mmHg를, 제 2군은 310.88±33.47mmHg에서 390.93±15.86 mmHg를 보여 두 군간에는 유의한 차이가 있었다(p=0.0092 - <0.0001).
3. 肺動脈壓은 재관류하여 시간이 경과될수록 두 군 모두 상승하였으며 제 1군은 40.56±18.66mmHg에서 87.22±17.22 mmHg를, 제 2군은 31.21±6.84 mmHg에서 65.78±11.02 mmHg를 보여 두 군간에는 통계학적으로 의미있는 차이가 있었다(p=0.048 - 0.0062).
4. 肺血管抵抗은 재관류 동안에 제 1군은 2.03±0.93 mmHg/ml/min에서 4.36±0.86 mmHg/ml/min를, 제 2군은 1.56±0.34 mmHg/ml/min에서 3.29±0.55 mmHg/ml/min를 나타내어 두 군간에는 유의한 차이를 보였다 (p=0.048 - 0.0062).
5. 氣道內壓, 肺彈性度 및 肺浮腫의 정도는 두 군간에 통계학적 유의성은 없었다.
6. 肺動脈血의 酸素分壓과 二酸化炭素分壓은 재관류동안에 변화가 없었고 심폐적출시 측정치와 비슷한 수치를 나타내서 본 실험의 摘出肺臟 保存實驗의 모델로 사용된 “生理的 脫酸素化器”로서 交叉體外循環 家兎를 이용한 보존폐장의 灌流 및 換氣裝置는 보존폐장의 평가에 적합하였다.

이상으로 가토의 摘出肺臟 保存溫度에 따른 실험에서 10 °C의 肺洗滌溶液과 肺臟保存溫度가 4 °C보다 재순환시 肺機能의 回復이 우수하였다.

1. Patterson GA, Cooper JD, Dark JH, Jones MT, the Toronto Lung Transplant Group. *Experimental and clinical double lung transplantation*. J Thorac Cardiovasc Surg 1988;95:70-4.
2. Patterson GA, Cooper JD. *Status of lung transplantation*. Surg Clin North Am 1988;68:545-53.
3. Wahlers T, Haverich A, Fieguth HG, Schafers HJ, Takayama T, Borst HG. *Flush perfusion using Euro-Collins solution vs cooling by means of extracorporeal circulation in heart-lung preservation*. J Heart Transplant 1986;5:89-94.
4. Baldwin JC, First WH, Starkey TD. *Distant graft procurement for combined heart and lung transplantation using pulmonary artery flush and simple topical hypothermia for graft preservation*. Ann Thorac Surg 1987;43:670-6.
5. Pegg DE. *Organ transplantation: Organ preservation*. Surg Clin North Am 1986;66:617-31.
6. Pegg DE, Jacobseu IA, Halasz NA. *Organ preservation: Basic and applied aspect*. In: Hypothermic preservation, Lancaster, England: MTP Press 1982;329-50.
7. Tyers GFO, Williams EH, Hughes HC, Todd GJ. *Effect of perfusate temperature on myocardial protection from ischemia*. J Thorac Cardiovasc Surg 1977;73:766-72.
8. Swanson DK, Dufek JH, Kahn DR. *Improved myocardial preservation at 4 °C*. Ann Thorac Surg 1980;30:519-26.
9. Connaughton PJ, Bahuth JJ, Lewis FJ. *Lung ischemia up to six hours: influence of local cooling in situ on subsequent pulmonary function*. Chest 1962;41:404-8.
10. Josef WL, Morton DL. *Influence of ischemia and hypothermia on the ability of the transplanted primate lung to provide immediate and total respiratory support*. J Thorac Cardiovasc Surg 1971;62:752-61.
11. Kondo Y, Turner MD, Cockrell JV. *Ischemic tolerance of the canine autotransplanted lung*. Surgery 1974;76:447-53.
12. Kirk AJB, Colquhoun IW, Dark JH. *Lung preservation: A review of current practice and future directions*. Ann Thorac Surg 1993;56:990-1000.
13. Collins GM, Bravo-Sugarman M, Terasaki PI. *Kidney preservation for transplantation*. Lancet 1969;1:1219-22.
14. Wahlberg JA, Love R, Landegaard L, Southard JH, Belzer FO. *72-hour preservation of the canine pancreas*. Transplantation 1987;43:5-8.
15. Date H, Matsumura A, Manchester JK, Cooper JM, Lowry OH, Cooper JD. *Changes in alveolar oxygen and carbon dioxide concentration during lung preservation*. J Thorac Cardiovasc Surg 1993;105:492-501.
16. Fujimura S, Kondo T, Handa M. *Successful 24-hour preservation of canine lung transplants using modified extracellular fluid*. Transplant Proc 1985;17:1466-7.
17. Keshavjee SH, Yamazaki F, Cardoso PF, McRitchie DI, Patterson GA, Cooper JD. *A method for safe twelve-hour pulmonary preservation*. J Thorac Cardiovasc Surg 1989;98:

- 529-34.
18. Novick RJ, Reid KR, Denning L, Duplan J, Menkis AH, McKenzie FN. *Prolonged preservation of canine lung allografts : The role of prostaglandins.* Ann Thorac Surg 1991;51: 853-9.
 19. Yamazaki F, Yokomise H, Keshavjee SH, Miyoshi S, Cardoso PF, Slutsky AS, Patterson GA. *The superiority of an extracellular fluid solution over Euro-Collins solution for pulmonary preservation.* Transplantation 1990;49: 690-4.
 20. Bresticker MA, Locicero III J, Oba J, Greene R. *Successful extended lung preservation with UW solution.* Transplant 1992; 54(5): 780-4.
 21. Karow AM Jr, Pegg DE. *Organ preservation for transplantation : the biology of cell survival in vitro.* 2nd ed. New York, Marcel Dekker, 1982; 31-52.
 22. Elford BC. *Temperature dependence of cation permeability of dog red cells.* Nature 1974;248: 522-6.
 23. Locke TJ, Hooper TL, Flecknell PA, Mcgregor CGA. *Preservation of the lung comparison of topical cooling and cold crystalloid pulmonary perfusion.* J Thorac Cardiovasc Surg 1988; 96: 789-95.
 24. Wang LS, Yoshikawa K, Miyoshi S, Nakamoto F, Hsieh CM, Yamazaki F, Cardoso FG, Schaefer GHJ, Brito J, Keshavjee SH, Patterson A, Cooper JD. *The effect of ischemic time and temperature on lung preservation in a simple ex vivo rabbit model used for functional assessment.* J Thorac Cardiovasc Surg 1989;98: 332-42.
 25. Cooper JD. *Current status of lung transplantation.* Transplant Proc 1991;23: 2107-14.
 26. Veith FJ, Sinha SBP, Graves JS. *Ischemic tolerance of the lung : The effect of ventilation and inflation.* J Thorac Cardiovasc Surg 1971;61: 804-10.
 27. Thomas PA, Buchman RJ, Colonel MC. *Successful 20 hour preservation of ischemic canine lung by hypothermia combined with minimal ventilation.* J Thorac Cardiovasc Surg 1971;62: 176-82.
 28. Weder W, Harper B, Shimokawa S, Miyoshi S, Date H, Shreinemakers H, Egan T, Cooper JD. *Influence of intraalveolar oxygen concentration on lung preservation in a rabbit model.* J Thorac Cardiovasc Surg 1991;101: 1037-43.
 29. Koyama I, Toung TJK, Rogers MC. *O₂ radicals mediate reperfusion injury in ischemic O₂ ventilated canine pulmonary lobe.* J Appl Physiol 1987;63: 111-5.
 30. Matalon S, Cesar MA. *Effect of 100% oxygen breathing on the capillary filtration coefficient in rabbit lungs.* Microvasc Res 1985;29: 70-80.

=국문초록=

家兎의 摘出肺臟保存實驗의 모델을 이용하여 폐세척용액과 폐장보존용액의 溫度를 제 1 군은 4℃로 제 2군은 10℃로 하여 6시간동안 적출폐장보존후에 再灌流시켜 각각의 온도차이에 따른 肺臟保存效果를 비교 실험하였으며 각 군은 10례씩으로 하였다. 폐정맥혈액산소분압, 폐포-동맥간 산소분압차, 폐동맥압 및 폐혈관저항은 제 1 군보다 제 2군이 재관류동안에 성적이 우수하였으며 기도내압, 폐탄성도 및 폐부종의 정도는 두 군간에 통계학적 유의성은 없었다. 결론적으로 가토의 摘出肺臟 保存溫度에 따른 실험에서 10℃의 肺洗滌溶液과 肺臟保存溫度가 4℃보다 재순환시 肺機能의 回復이 우수하였다.