

빈맥을 이용한 심부전 모델에서 회복궤도

오 중 환* · 박 승 일* · 원 준 호* · 김 은 기* · 이 종 국*

=Abstract=

Recovery Trajectory in Tachycardia Induced Heart Failure Model

Joong Hwan Oh, M.D.*, Seung Il Park, M.D.*, Joon Ho Won, M.D.*,
Eun Gee Kim, M.D.*, Chong Kook Lee, M.D.*

Background: Tachycardia induced heart failure model would be the model of choice for the dilated cardiomyopathy. This more closely resembles the clinical syndrome and does not require major surgical trauma, myocardial ischemia and pharmacological or toxic depression of cardiac function. When heart failure is progressive, application of new surgical procedures to the failing heart is highly risky. It has been shown that recovery trajectory from heart failure is a new method in decreasing animal mortality. The purpose is to establish the control datas for recovery trajectory in the canine heart failure model. **Material and Method:** 21 mongrel dogs were studied at 4 stages(baseline, at the heart failure, 4 and 8 weeks after recovery). Heart failure was induced during 4 weeks of continuous rapid pacing using a pacemaker. Eight weeks of trajectory of recovery period was allowed. Indices of left ventricular function and dimension were measured every 2 weeks and the hemodynamics were measured by use of Swan-Ganz catheterization and thermodilution method every 4 weeks. Values were expressed as mean \pm standard deviation. **Result:** 4(20%) dogs died due to heart failure. Left ventricular end-diastolic volume at the 4 stages were 40.8 ± 7.4 , 82.1 ± 21.1 , 59.9 ± 7.7 and 46.5 ± 6.5 ml. Left ventricular end-systolic volume showed the same trend. Ejection fractions were 50.6 ± 4.1 , 17.5 ± 5.8 , 36.3 ± 7.3 , and 41.5 ± 2.4 %. Blood pressure and heart rate showed no significant changes. Pressures of central vein, right ventricle, pulmonary artery, and pulmonary capillary wedge showed significant increase during the heart failure period, normalizing at the end of recovery period. Stroke volumes were 21.5 ± 8.2 , 12.3 ± 3.5 , 17.9 ± 4.6 , and 15.5 ± 3.4 ml. Blood norepinephrine level was 133.3 ± 60.0 pg/dL at the baseline and 479.4 ± 327.3 pg/dL at the heart failure stage($p=0.008$). **Conclusion:** Development of tachycardia induced heart failure model is of high priority due to ready availability and reasonable amenability to measurements. Recovery trajectory after cessation of tachycardia

*연세대학교 원주의과대학 흉부외과

Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

† 본 논문의 요지는 1998년도 추계 학술대회에서 발표하였음.

논문접수일 : 98년 11월 7일 심사통과일 : 99년 2월 18일

책임저자: 오중환, (220-701) 강원도 원주시 일산동 162, 연세대학교 원주의과대학 흉부외과. (Tel) 0371-741-1320, (Fax) 0371-742-0666

E-mail:mdjhoh@wonju.yonsei.ac.kr

본 논문의 저작권 및 전자매체는 대한흉부외과학회에 있다.

showed reduction of cardiac dilatation and heart function. Application of new surgical procedures during the recovery period could decrease animal mortality.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 1999;32:422-7)

Key word : 1. Heart failure
2. Tachycardia
3. Model, experimental

서 론

동물실험을 위한 심부전의 모델에는 심장에 압력 혹은 체적 부하를 주거나, 관상동맥을 결찰하여 심근경색을 유발하는 등 여러 가지 방법이 있지만 대부분 심장에 외과적인 손상을 주며, 약물의 독성 작용을 이용하여 심장의 기능을 억제하는 경우는 약물에 의한 전신 부작용을 일으키는 단점이 있다. 이러한 심부전 심장 모델은 심부전이 더욱 악화되는 과정에 있으므로 전신마취하에 새로운 외과적 술식을 추가하는 것은 실험 결과를 얻기 전에 실험 동물의 사망률을 증가시키는 요인이 된다. 그러나 빈맥을 이용하여 심부전을 유도하는 방법은 확장성 심근증을 위한 가장 좋은 모델로서 심장에 외과적 손상을 최소화할 수 있고 사람의 심부전에 가장 가까우며 조작하기 쉬운 장점이 있다¹⁾. 또한 심부전 상태에서 빈맥이 없어지면 심기능이 회복하는 성질이 있다²⁾. 이러한 회복 제도를 설정하여 새로운 술식을 추가하더라도 심장기능의 악화가 없는 상태이므로 실험동물의 사망률을 줄일 수 있는 새로운 방법으로 이미 사용되고 있지만 회복 제도에 대한 기초 자료가 빈맥을 만드는 기술에 따라 상당한 차이가 있어 이의 정립이 시급한 실정이다. 이에 저자들은 빈맥을 이용한 확장성 심부전 모델의 회복 제도 변화를 관찰하고자 본 연구를 시도하였다.

대상 및 방법

21마리의 잡견(체중 25~35kg)을 대상으로 하였다. 한 개체에서 심부전의 변화시기에 따라 1) 정상 심장, 2) 심부전 심장, 3) 회복기 4주 4) 회복기 8주 등 4가지로 나누었다. 정상 심장을 가진 개에서 Sodium pentobarbital(30mg/kg)로 마취를 유도한 후 기관 삽관하고 1% Isoflurane과 산소를 인공 호흡기를 통하여 공급하였다. 정상의 심장에서 심전도를 설치하여 맥박을 관찰하였고 대퇴동맥에 도자를 삽입하여 혈압을 지속적으로 감시하였다. 경흉부초음파를 이용하여 좌심실의 이완기 말기 체적과 수축기말기체적을 구하여 심장의 크기 및 심박출율을 관찰하였고, Swan-Ganz 도자를 이용하

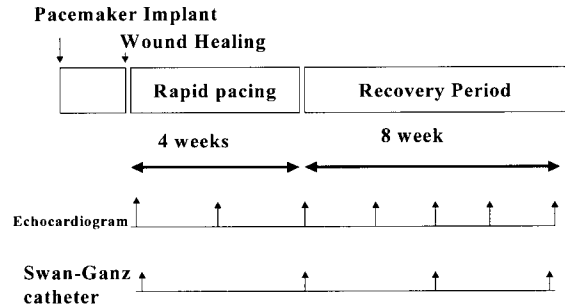


Fig. 1. Experimental design to show time sequence.

여 중심정맥압, 우심실압, 폐동맥압, 폐동맥쇄기압 등을 측정하였고 열회석법으로 일회박출량을 측정하였다. 검사가 끝난 후 심부전 모델을 위하여 정중절개 혹은 흉골하부 절개 후 심낭을 열고 Medtronic 5071 심근용 전극을 심외막에 삽입하고 박동기(Medtronic 8329)를 좌측 복부 피하에 설치하였다. 1~3일간 상처가 회복되기를 기다린 후 심박동 프로그래머를 이용하여 맥박수를 170회/분부터 매주 20회씩 4주간 250회/분으로 증가시켰다. 4주 후 임상 증상(운동감소, 식욕부진, 호흡수 증가, 근육위축, 복수 증가)을 관찰하여 심부전이 가장 심하다고 판정되면 이 시기를 심부전 심장으로 정하고 전신마취 상태에서 초음파, Swan-Ganz 도자 검사를 실시하여 확인하였다. 이후 박동기의 작동을 중지시켜 회복을 유도하였다. 회복기 4주 및 8주 경과 후에 같은 방법으로 심장의 회복 제도를 추적하였다. 초음파는 2주마다 실시하여 심부전의 정도를 조절할 수 있었고, Swan-Ganz 도자와 열회석법은 4주마다 검사를 실시하였다(Fig. 1). 혈중 카테콜라민은 정상과 심부전 심장에서 측정하였다.

관찰값은 4가지 측정시기(정상심장, 심부전심장, 회복기 4주 및 8주)에 따라 평균±표준편차로 표시하였다. 측정값은 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 Repeated measures ANOVA를 시행하여 정상심장에 비하여 심장의 상태가 유의 있게 변화하는 시기를 관찰하였다. p<0.05 일 때 통계적으로 의

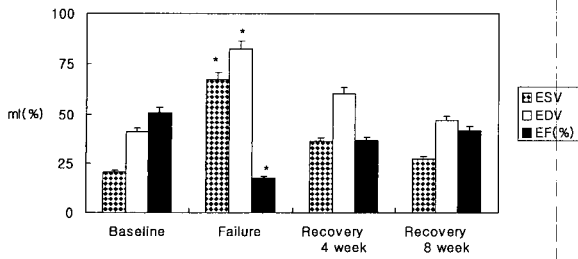


Fig. 2. Cardiac size and ejection fraction changes(mean±standard deviation).
* p<0.05 vs normal baseline group. ESV; End systolic left ventricular volume, EDV; End diastolic left ventricular volume, EF; Ejection fraction.

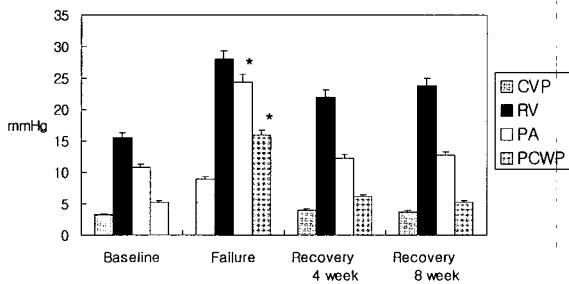


Fig. 3. Pressure changes(mean±standard deviation).
* p<0.05 vs baseline normal heart. CVP; central venous pressure, RV; right ventricular pressure, PA; pulmonary artery pressure, PCWP; pulmonary capillary wedge pressure.

의 있다고 단정하였다.

결 과

21마리의 개중에서 4마리가 사망하여 약 20%의 사망율을 보였으며 모든 예에서 심부전 말기에 Swan-Ganz 도자를 삽입하기 위하여 전신마취하는 과정에서 발생하였다. 나머지 17마리에서의 결과를 보면 수축기말기 좌심실 체적은 정상 심장에서 20.3 ± 4.7 ml 이었으나 심부전 상태에서는 67.1 ± 16.0 ml로 정상에 비하여 세배 이상 증가하였으나 빈맥이 멈춘 후 회복기 4주 후에는 35.9 ± 7.3 ml, 회복기 8주 후에는 27.0 ± 3.0 ml로 정상 심장 크기로 변화하였다. 이완기 말기 좌심실은 정상심장에서는 40.8 ± 7.4 ml, 심부전 심장에서는 82.1 ± 21.1 ml로 2배이상 증가하였고 회복기에는 59.9 ± 7.7 , 46.5 ± 6.5 ml로 수축기말기 좌심실 체적과 비슷한 변화 양상을 보였다. 심박출률은 정상이 50.6 ± 4.1 %이나 심부전 상태에서는 17.5 ± 5.8 %로 유의 있는 감소를 보이며(p<0.05) 회복기에는

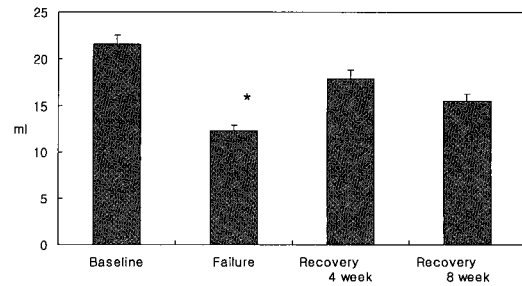


Fig. 4. Stroke volume changes(mean±standard deviation).
* p<0.05 vs baseline normal heart.

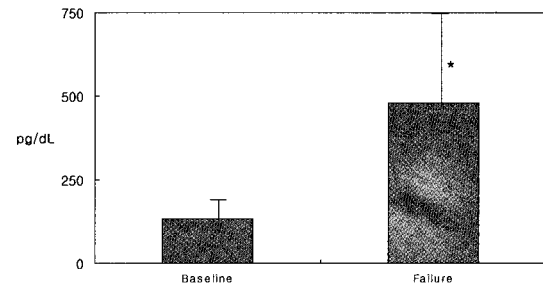


Fig. 5. Blood catecholamine level change(mean±standard deviation).
* p=0.008 vs baseline normal heart.

36.3 ± 7.3 %, 41.5 ± 2.4 %로 회복하였으나 정상의 수치에는 미달하였다(Fig. 2). 각각의 시기에 따른 혈압은 104 ± 22 , 98 ± 18 , 111 ± 17 , 113 ± 17 mmHg로 측정시기에 차이가 없었다. 맥박도 123 ± 14 , 131 ± 15 , 133 ± 16 , 134 ± 20 회/분으로 유의 있는 변화 양상을 보이지 않았다. 중심 정맥압은 3.3 ± 1.1 , 8.9 ± 4.0 , 4.0 ± 1.8 , 3.7 ± 1.0 mmHg로 심부전 상태에서 유의 있는 증가를 보이며(p<0.05), 회복기에는 정상의 범주로 돌아오는 것을 알 수 있다. 우심실압도 15.5 ± 4.1 , 28.0 ± 5.8 , 22.0 ± 7.3 , 23.8 ± 0.5 mmHg로 정상에 비하여 증가하였지만 통계적인 의미는 없었다. 폐동맥압은 10.8 ± 2.3 , 24.4 ± 10.3 , 12.3 ± 2.3 , 12.7 ± 1.9 mmHg로 심부전시에 유의 있는 증가를 보이며(p<0.05) 회복기에는 정상의 범주로 회복 양상을 보였다. 폐동맥 폐기압은 정상의 경우 5.3 ± 1.8 mmHg, 심부전 심장에서는 15.9 ± 4.4 mmHg로 유의 있는 증가를 보이며(p<0.05) 회복기에는 정상심장으로 회복하였다(Fig. 3). 일회박출량은 21.5 ± 8.2 , 12.3 ± 3.5 , 17.9 ± 4.6 , 15.5 ± 3.4 ml로 심부전 상태에서는 정상에 비하여 60% 이하의 수치를 보이며 회복기에 심부전 상태로부터 회복 경향을 볼 수 있지만 완전한 회복을 보이지는 않았다(Fig. 4). 혈중 카테콜라민은 정상 133.3 ± 60.0 pg/dL에서 심부전시에는 479.4 ± 327.3 pg/dL로 증가를 보

였다($p=0.008$)(Fig. 5).

고 찰

동물실험을 위한 심부전 모델에는 동정맥루를 만들어 심장에 많은 부하를 주는 방법, 관상동맥 결찰 후 심근경색을 유발하여 심부전을 일으키는 방법, 독성 약물을 관상동맥에 주입하는 법 등 여러 가지가 있지만 이들은 외과적인 손상이나 약물의 전신적인 독성반응, 신경 호르몬 변화 등을 일으키는 부작용이 있다¹⁾. 또한 심부전에 대한 새로운 외과적인 술식의 평가를 위한 실험에서 심부전이 더 악화되는 과정에 새로운 술식의 추가는 실험동물의 사망률을 증가시키고 있다³⁾. 그러나 Mott와 Oh 등^{4,5)}에 의하면 빈맥을 이용한 심부전 모델에서 회복 제도를 이용하는 방법은 심장에 미치는 외과적 손상이 적고 조작하기 쉬우며 동물의 사망률을 줄일 수 있을 것으로 사료되어 이러한 방법으로 이미 여러 실험을 하였지만 시술자와 각 기관에 따라 상당한 차이가 있어 대조군의 자료 정립을 위하여 본 연구를 시도하였다.

1962년 Whipple 등²⁾은 빈맥이 있는 환자에서 심부전이 발생한다는 사실에 착안하여 처음으로 빈맥을 이용한 개나 돼지의 심부전 모델을 제시하였다. 그 후 빈맥이 있는 모든 환자에서 심부전이 발생하는 것이 아니라는 예외적인 보고도 있고, 빈맥이 심장에 미치는 기전에 관하여는 아직 논란이 많다⁶⁾. Whipple 등²⁾은 전극을 정맥을 통하여 심방에 삽입한 후 박동기에 연결하여 우심방의 빈맥을 이용한 심부전 모델을 이용하여 동물실험을 한 결과 임상적으로 훌륭한 모델이라고 평가했지만 방실차단이 자주 발생하는 단점이 노출되어 최근에는 우심실에 전극을 삽입하는 것이 더 효율적이라는 보고가 지배적이다⁷⁾. 우심실에 전극을 삽입하는 법에는 방사선 투시 하에 정맥을 통하여 심실침에 고정시키는 법도 있지만 저자의 경우 흉골하부에 최소한의 정중절개 후 심낭을 열고 우심실의 심침에 박동기 전극을 고정하고 박동기는 좌측 복부 피하에 설치하였다. 박동기의 작동기간과 회수에 관하여 저자에 따라 많은 차이가 있다. Whipple 등²⁾은 평균 맥박수 348회/분을 유지한 결과 3주 이내에 심부전이 대부분 발생하였으며 이와 더불어 하루 5g의 소금을 먹었다고 하였다. 최근에는 약 240~280회/분의 맥박수를 사용하며 4일에서 3개월간 박동기를 작동시키지만⁸⁾ 약 2주에서 4주간 사용하는 경우가 가장 보편적이다. 250회/분 이상의 갑작스런 빈맥은 심장마비를 일으키는 위험성도 있어 저자의 경우 실험동물의 안전을 위하여 처음 1주간은 170회/분에서 시작하여 매주 20회 정도의 맥박수를 추가하면서 적응기를 부여하였다. 심부전의 정도에 따라서 맥박수의 증감을 조절하였다. 심부전의 임상 정도는 New York Heart Association의

기능 분류가 동물에는 없기 때문에 Stevens 등⁹⁾이 제시한 실험동물의 임상증상 6가지를 기준으로 하였다. 첫째 잘 걷지를 못하고 둘째 식욕이 줄고, 셋째 호흡수가 두 배로 증가하고 넷째 근육의 위축이 오며 다섯째 복수가 차며 여섯째가 초음파에서 심박출율이 50%이하일 때이다. 저자의 경우 임상 증상은 매일 관찰하였지만 초음파는 2주마다 정기적으로 시행하여 심부전의 정도가 심하여 사망 위험이 있으면 심박동기의 회수를 줄이고 경우에 따라 이노제를 투입하기도 하였다. 심부전이 경미하면 맥박 회수를 더 늘리도록 하였다. 실험동물의 선택에 있어 Iannuzo 등¹⁰⁾은 염소, 돼지, 개에서 광배근의 형태학적, 생화학적 특징을 비교하였는데 염소가 인간에 가장 비슷하며, 돼지에서는 근섬유형의 배열 등에서 차이점이 있고, 개에서는 미토콘드리아 효소의 활성이 사람보다 증가하여 있고 관상동맥 부행혈관의 발달이 다른 동물보다 좋아 저산소증에 견디는 힘이 강하여 개를 실험동물로 선택하는 데에 있어서 문제점을 제시하였지만 실제로 동물을 다루는 데에 있어서 편리성 때문에 필자를 비롯한 많은 기관에서 아직도 개를 선택하고 있다.

빈맥에 의한 심부전이 진행되는 동안 체중의 변화에 관하여 Coleman 등¹³⁾은 복수의 증가에 의한 1.4kg의 체중 증가를 보고하였지만 필자의 경우 근육이 위축되면서 식욕이 줄면 체중도 감소하므로 별로 의의있는 소견이 아니라 체중 변화의 결과는 제시하지 않았다. Armstrong 등¹¹⁾은 심장이 커지면서 폐울혈이 관찰되지만 심장 벽의 두께는 변화가 없는 심장의 비대 발생한다고 하였다. 저자의 경우 심부전시에 이완기 말기 및 수축기말기 좌심실 체적이 정상의 심장에 비하여 2배이상 증가하고 심박출률은 1/3 가량 감소하여 심장의 수축 기능이 감소하는 것을 알 수 있었다. 심부전시에 심근세포의 내부적 이완 기능 장애는 세포내 칼슘 조절기능과 beta-adrenergic receptor의 변화를 야기시켜 이완 기능에도 장애를 보인다고 보고하였다¹¹⁾. 심부전시에 좌심실 벽의 Norepinephrine이 감소하고 대신 혈중 Norepinephrine 치가 증가하는데 이는 beta-adrenergic receptor의 농도가 감소하는 것과 관련이 있다¹⁴⁾. 저자의 경우도 심부전시에 혈중 Norepinephrine치가 거의 3배이상 증가하는 것을 볼 수 있었다. Moe 등¹²⁾은 우심실 빈맥을 이용한 모델에서 폐동맥 쇄기압이 갑자기 증가하고 우심방압은 약간의 증가가 있다고 하였다. 저자의 경우도 폐동맥 쇄기압이 갑자기 3배이상 의의 있는 증가 양상을 보여 뚜렷한 심부전 지표임을 알 수 있으며 좌우측 심장내압 모두 증가하고 있다.

심근에 전기적인 자극을 계속 주면 심장의 기능이 떨어지는데 자극을 주는 부위는 좌심실심침, 좌심실 후벽, 우심실심침, 좌심실 유출로, 좌심방 등이 선호되고 있어 심장의 반응이 다소 차이는 있지만 이 모두 자율신경 계통의 증가를

야기시키고 휴식기 기초 박동수를 증가시키며 심박출량(cardiac output)을 유지하기 위하여 일회박출량(stroke volume)을 감소시키는 결과를 야기시킨다¹²⁾. 빈맥을 없애면 심장의 기능이 회복된다고 이미 보고되어 있지만²⁾ 어느 정도 어떻게 회복되는 지에 관하여는 논란이 많다¹⁾. 임상에서 빈맥이 있는 환자에서 빈맥이 없어지는 경우 심장 기능의 감소가 몇 개월간 지속되는 것을 볼 수 있듯이 Moe 등¹²⁾은 1주일간 빈맥이 지속되는 경우 심장 기능의 회복은 부분적으로 돌아오지만 3주 이상이 되면 정상 기능으로의 회복은 불가능하다고 보고하였다. 저자의 실험에서도 이러한 현상이 관찰되고 있다. 회복기 8주간 관찰한 결과 심박출률은 약 80%, 일회박출량은 약 70%가량의 회복을 보여 심장 기능의 완전한 회복에는 미치지 못하였다. 그러나 이러한 회복 제도를 설정하여 대조군으로 정해놓고 새로운 술식이나 치료를 추가한 군(실험군)의 회복 제도를 비교하여 보는 것은 외과적 술식이나 치료법을 평가할 수 있는 새로운 동물실험 방법이다. 회복 제도에서는 심부전의 진행이 중지되기 때문에 동물의 사망을 방지할 수 있는 장점이 있다. Nakajima 등³⁾은 12마리의 양을 대상으로 관상동맥결찰을 이용한 심부전 모델을 만든 후 심근성형술을 시행한 결과 7마리가 사망하여 58% 이상의 높은 사망률을 보고하였지만, 회복제도를 이용한 필자의 경우 대조군 21마리에서 4마리가 사망하여 약 20%의 사망률을 보이고 있어 보다 안전한 방법이라고 할 수 있다.

결 론

빈맥을 이용한 심부전 모델은 빈맥을 조정함으로써 심부전의 정도를 임의로 조절할 수 할 수 있는 간편한 방법이고, 빈맥이 없어진 회복기에는 심장비대 및 심기능이 회복하는 경향을 보이므로 회복기의 제도를 이용한 방법은 실험 동물이 심부전의 악화에 의한 위험성에서 벗어날 수 있는 안전한 방법이다.

참 고 문 헌

1. Armstrong PW, Stopps TP, Ford SE, de Bold AJ. *Rapid ventricular pacing in the dog: pathophysiologic studies of heart failure*. Circulation 1986;74:1075-84.
2. Whipple GH, Sheffield LT, Woodman EG, Theophilis C,

- Friedman S. *Reversible congestive heart failure due to rapid stimulation of the normal heart*. Proc N Eng Cardiovasc Soc 1962;20:39-49.
3. Nakajima H, Niinami H, Hooper TL, et al. *Cardiomyoplasty: probable mechanism of effectiveness using the pressure-volume relationship*. Ann Thorac Surg 1994;57:407-15.
4. Mott BD, Oh JH, Misawa Y, et al. *Mechanisms of cardiomyoplasty: comparative effects of adynamic versus dynamic cardiomyoplasty*. Ann Thorac Surg 1998;65:1039-45.
5. Oh JH, Badhwar V, Mott BD, Li CM, Chiu RC. *The effects of prosthetic cardiac binding and adynamic cardiomyoplasty in a model of dilated cardiomyopathy*. J Thorac Cardiovasc Surg 1998;116:148-53.
6. Gallagher JJ. *Tachycardia and cardiomyopathy: the chicken-egg dilemma revisited*. J Am Coll Cardiol 1985;6:1172-3.
7. Morgan DE, Tomlinson CW, Qayumi AK, et al. *Ventricular contractile failure induced by rapid atrial pacing*. Circulation 1987;76:IV-540.
8. Damiano RJ, Tripp HF, Asano T, Small KW, Jones RH, Lowe JE. *Left ventricular dysfunction and dilatation resulting from chronic supraventricular tachycardia*. J Thorac Cardiovasc Surg 1987;94:135-43.
9. Stevens TL, Burnett JC, Kinoshita M, Matsuda Y, Redfield MM. *A functional role for endogenous atrial natriuretic peptide in a canine model of early left ventricular dysfunction*. J Clin Invest 1995;95:1101-8.
10. Ianuzzo CD, Ianuzzo SE, Chalfoun N, et al. *Cardiomyoplasty: comparison of latissimus dorsi muscles of three large mammals with that of human*. J Card Surg 1996;11:30-6.
11. Zile MR, Spinale FG. *Diastolic dysfunction in tachycardia-induced heart failure*. In: Lorell BH, Grossman W, eds. *Diastolic relaxation of the heart*. Boston: Kluwer Academic Publishers;1994.
12. Moe GW, Grima EA, Howard RJ, Seth R, Armstrong PW. *Left ventricular remodeling and disparate changes in contractility and relaxation during the development of and recovery from experimental heart failure*. Cardiovasc Res 1994;28:66-71.
13. Coleman HN, Taylor RR, Pool PE, et al. *Congestive heart failure following chronic tachycardia*. Am Heart J 1971;81:790-98.
14. Larosa G, Armstrong PW, Seeman P, Forster C. *Beta adrenoceptor recovery after heart failure in the dog*. Cardiovasc Res 1993;27:489-93.

=국문초록=

배경: 빈맥을 이용하여 심부전을 만드는 방법은 확장성 심근증 모델 중에서 가장 좋은 방법으로 심장에 외과적 손상 혹은 약물의 독성을 최소화할 수 있고 사람의 심부전에 가장 가까우며 조작하기 쉬운 장점이 있다. 새로운 술식의 효과를 검증하기 위하여 심부전이 진행중인 모델에서 동물실험을 시행하는 것은 결과를 얻기 전에 실패할 가능성이 높다. 심부전의 진행을 중지시킨 회복제도의 변화를 비교하는 방법은 심부전 악화에 의한 사망률을 줄일 수 있는 새로운 방법이지만 빈맥 조작 기술에 따라 저자마다 상당한 차이가 있어 이에대한 자료의 정립이 필요한 실정이다. **대상 및 방법:** 21마리의 개(체중 25-35kg)를 대상으로 1)정상의 심장, 2) 심부전 심장, 3) 회복기 4주 4) 회복기 8주 등 4가지로 나누었다. 전신마취하에 우심실첨부에 박동기 전극을 삽입하여 빈맥은 처음 170회/분부터 매주 20회씩 프로그래머를 이용하여 증가시켰다. 4주 후 심부전이 발생하면 8주간의 회복기 동안 회복 제도를 추적하였다. 심장의 크기와 혈액학적 변화를 관찰하고자 초음파는 2주마다, Swan-Ganz 도자와 열회색법은 4주마다 검사를 실시하여 이완기 말기 좌심실 체적, 수축기 말기 좌심실 체적, 심박출율, 중심정맥압, 폐동맥압, 폐동맥 쇄기압, 우심실압, 일회박출량 등을 측정하였으며, 정상과 심부전 심장 상태에서 혈중 카테콜라민을 측정하였다. 그 외 심전도 및 대퇴동맥 도자를 넣어 맥박수, 혈압을 측정하였다. 정상심장, 심부전 심장, 회복기 4주 및 8주에서 측정한 값은 평균±표준편차로 표시하였다. **결과:** 4마리(20%)가 심부전에 의한 합병증으로 사망하였다. 이완기 말기 좌심실 체적은 측정시기에 따라 40.8 ± 7.4 , 82.1 ± 21.1 , 59.9 ± 7.7 , 46.5 ± 6.5 ml로 수축기말기 좌심실 체적과 비슷한 변화양상을 보였으며 심박출율은 50.6 ± 4.1 , 17.5 ± 5.8 , 36.3 ± 7.3 , 41.5 ± 2.4 %였다. 혈압과 맥박은 의의 있는 양상을 보이지 않았으며 중심정맥압, 우심실압, 폐동맥압, 폐동맥 쇄기압 등은 심부전 시에 의의 있는 증가를 보이다가 회복기에는 감소하는 양상을 볼 수 있다. 일회박출량은 21.5 ± 8.2 , 12.3 ± 3.5 , 17.9 ± 4.6 , 15.5 ± 3.4 ml로 회복기에 심부전 상태에서부터 회복하는 경향을 볼 수 있었다. 혈중 카테콜라민은 정상 133.3 ± 60.0 pg/dL에서 심부전 시에는 479.4 ± 327.3 pg/dL로 증가를 보였다($p=0.008$). **결론:** 빈맥을 이용한 심부전 모델은 외과적손상이 적고, 병의 정도를 임의로 조절할 수 할 수 있는 간편한 방법이다. 회복기에는 심기능 및 심장비대가 회복하는 경향을 보이므로 향후 새로운 술식의 평가를 위하여 회복 제도를 이용하는 경우 실험 동물의 심부전 악화에 의한 사망률을 줄일 수 있는 새로운 방법이다.

- 중심단어 : 1. 심부전
2. 빈맥
3. 실험모델