

博士學位論文

심장초음파를 이용한 Thoroughbred
말의 최고부하 트레드밀운동
조교효과에 대한 평가



獸醫學科

崔貴澈

2006年 2月

심장초음파를 이용한 Thoroughbred
말의 최고부하 트레이드밀운동
조교효과에 대한 평가

指導教授 李慶甲

崔貴澈

이 論文을 獸醫學 博士學位 論文으로 提出함

2005年 10月

崔貴澈의 獸醫學 博士學位 論文을 認准함

 제주대학교 중앙도서관
SEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
審査委員長 _____

委 員 _____

委 員 _____

委 員 _____

委 員 _____

濟州大學校 大學院

2005年 12月

목 차

| | |
|-------------|--------|
| 초 | 록..... |
| I. 서 | 론..... |
| II. 재료 및 방법 | |
| III. 결 | 과..... |
| IV. 고 | 찰..... |
| V. 결 | 론..... |
| VI. 참 고 문 헌 | |



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Evaluating the effect of training on
Thoroughbred horses using echocardiography
following maximal treadmill exercise

Advised by professor Kyoung-Kab Lee

Gui-Cheol Choi

Department of Veterinary Medicine
제주대학교 중앙도서관
Graduate School LIBRARY

Cheju National University
Jeju 690-756, Korea

Abstract

In Thoroughbred race horses, V_{200} , $V\text{-HR}_{\max}$, $VO_{2\max}$, and VLA_4 using treadmill has been examined in performance testing. Realistically, there are limitations to its use, due mainly to cost efficiency. Therefore, this study was performed to establish the applicability of echocardiography for the performance testing of Thoroughbred racehorses.

Six Thoroughbred mares, ranging from 5 to 11 years in age were used in this study. All horses were subjected to standardized maximal exercise, using a high speed treadmill for 5 days a week, over a 12 week period. To evaluate the effect of training, all horses were subjected to M mode echocardiography measurements and performance testing, prior to and at the conclusion of each training period of the 4th, 8th and 12th week. Measurements of maximal heart rate during treadmill exercise, $V\text{-HR}_{\max}$ and blood examination including blood lactate concentrations, were performed to determine the effect of treadmill exercise.

The following cardiac dimension variables were measured : left ventricular internal diameter(LVID) interventricular septal and left ventricular posterior wall thickness in diastole(d) and systole(s), mean wall thickness and aortic root dimension in diastole. The following variables of indices of cardiac function measured : the left ventricular(LV) mass, stroke volume(SV), cardiac output(CO), ejection fraction and fractional shortening of the left ventricle

The results showed that LVIDd increased significantly at the conclusion of the 8th and 12th week of the training period($P<0.05$). With respect to the variables of indices of cardiac function, the SV and CO increased significantly at the 8th week after training($P<0.05$) and LV mass increased significantly at the conclusion of the 12th week of training($P<0.05$). Cardiac hypertrophy was apparent with the increased LVIDd and LV mass and improvement of ventricular capacity was displayed through the strengthening of cardiac contractibility, caused by increased stroke volume and cardiac output.

In the exercise performance, $V\text{-HR}_{\max}$ increased significantly at the conclusion of the 8th and 12th week of the training period($P<0.05$).

Blood lactate concentration decreased significantly at the conclusion of the 8th and 12th week of the training period($P<0.05$). This suggests that an effect is evident after 8 weeks of training.

In conclusion, the changes of cardiac dimensions and indices of cardiac function of the horses used in this study, which were observed for the 12 week period, indicate a significant response to the standardized maximal exercise using high speed treadmill, especially at the 8th and 12th week of training. Thus, this study suggests that measurement of LVIDd, LV mass, SV and CO using echocardiography is a clinically reliable and applicable method to test the effect of training and racing potential of racehorses.

Key words : Thoroughbred; echocardiography; treadmill exercise ; training effect



I. 서 론

사람이나 동물의 운동능력은 유전적 요인, 환경 및 훈련 등의 3가지 요소에 의해 결정되어진다(Derman과 Noakes, 1994). 경주마의 운동능력에는 35%가 유전적 요인, 65%가 조교, 영양 등 환경적 요인이 영향을 미친다(Cunningham, 1991). 그러므로 우수 능력의 경주마를 생산하기 위해서는 우수혈통 종마의 선발과 더불어 과학적인 사양관리와 조교관리가 요구되고 있다. 따라서 마필 산업이 발달된 나라에서는 우수마의 능력검증, 효율적 조교 및 생산을 위한 말 운동생리학이 발전되어 왔다.

말의 운동생리학에 관한 초기 연구는 19세기 말부터 1930년대까지 사역마의 에너지 대사에 대해 중점적으로 이루어졌고 경마산업이 발전하면서 1950년대와 1960년대에 경주마의 운동생리학에 대한 관심이 고조되었다(Holmes 등, 1966). 실질적인 말 운동 과학의 선구자는 1960년대 스웨덴의 Persson으로서 말 운동생리학을 연구하기 위해 최초로 트레드밀을 고안하여 사용함에 따라, 현재는 트레드밀이 말의 조교뿐만 아니라 각종 연구에 널리 이용하고 있다(Derman과 Noakes, 1994). 이와 함께 1982년부터 미국에서 개최된 국제 말 운동생리학회에 다수의 논문이 발표됨을 계기로, 말 운동생리학에 관한 관심과 연구가 촉발되었다(Rose와 Hodgson, 1994a).

이후 경주마에 대한 운동능력 평가와 운동효과 분석에 대한 연구는 여러 가지 방법으로 이루어져 왔다. 초기에는 혈구검사와 혈액생화학검사에 의해 이루어지다가 기구와 장비의 발전에 따라서 심박동수 측정 및 젖산 분석 등이 이용되고 있다(Derman과 Noakes, 1994). 말에서 경주능력을 평가하기 위한 표준 운동시험은 Persson(1967)이 처음으로 경주로(track)와 트레드밀을 이용하여 실시하였다. 경주로 운동시험은 실제 경주상황과 비슷한 조건에서 실시할 수 있으나(Thornton, 1985; Erickson 등, 1991), 마체검사가 운동 전후에만 가능하여 운동이 진행되는 동안에

는 불가하다는 한계와 함께 경주로의 기상조건 및 기수능력 등이 검사에 영향을 주는 단점이 있다(Derman과 Noakes, 1994).

반면에 트레드밀은 온도가 조절된 실내에서 실험마에게 다양한 운동조건을 부과시키면서, 각 부여한 운동조건별 마체 상태의 내, 외부적 신체 변화를 운동 중에도 비교분석이 가능함으로써 과학적으로 근거 있게 말의 능력을 평가할 수 있다는 장점이 있다(Rose와 Hodgson, 1994b). Evans와 Rose(1988c)는 Standardbred 말 6두를 이용하여 트레드밀운동으로 심장 및 호흡기 관련 다수의 항목을 반복적으로 검사하였던 바, 각각의 결과치에서 일관성이 있었다고 하여 트레드밀운동의 표준성을 제시하였다.

이러한 트레드밀운동 검사는 1980년대까지는 트레드밀 회전속도가 말의 최대 주행속도에 못 미치는 한계 때문에 최고부하이하 운동검사(submaximal treadmill exercise test)만 가능했다(Milne 등, 1977; Sexton 등, 1987; Weber 등, 1987). 그 후 1980년 중반, 고속트레드밀이 개발되어 경주마에 있어서 최고부하를 이용한 운동검사 방법이 제시되었고(Harris와 Snow, 1988), 그 결과로 Thoroughbred 말의 경주능력 임상적 평가를 위한 표준트레드밀운동(Seeherman과 Morris, 1990; Rose 등, 1990; Harris 등, 1999)에 관한 연구가 활발히 이루어졌다.

운동능력 평가를 위해서 심박동 측정기는 경주마에서 널리 사용되고 있고 이는 말에 적용하기 쉬울 뿐만 아니라, 말의 질병과 운동능력 평가의 중요한 지표로서 심박동수가 활용 된다 (Evans와 Rose, 1986; Physick-Sheard 등, 1987). 특히 심장혈관계 능력을 판단하는 유용한 방법으로서 V_{200} 이 제시되었는데 이는 심박동수가 200 beat/min일 때 트레드밀상의 주행속도를 의미하는 것이다(Persson, 1983). 그 외에 최대심박동수에 도달하는 트레드밀속도인 $V-HR_{max}$ 는 최대산소소모량(VO_{2max})과 밀접한 관계가 있기 때문에 심장혈관계 능력을 더욱 잘 나타내는 지표로 제시되었다(Evans, 1994).

운동전후에 혈중 젖산농도 측정은 운동 강도와 조교 반응을 평가하는데 간단하고 유용한 방법 중의 하나이다. Persson(1983)은 혈장 또는 혈중

젯산농도 측정이 운동검사에서 생화학적 검사항목 중 조교의 효과를 잘 나타내준다고 하였고, 운동 시 젯산농도가 4 mmol/ℓ에 도달하는 주행속도(VLA₄)는 운동능력이 향상될수록 증가되기 때문에 경주마의 운동능력의 비교 또는 조교에 의한 운동능력 향상의 객관적 지표로서 중요하다고 하였다.

그러나 지금까지 연구된 V₂₀₀, V-HR_{max}, VO_{2max} 및 VLA₄ 등의 운동능력 검사 유효항목들은 반드시 트레드밀을 이용한 표준운동과 병행하여 검사해야 하는 것들이어서 경제적, 시간적 및 공간적 제약을 받아야 하는 것이 현실적인 문제이다. 그러므로 트레드밀을 사용하지 않고도 경주마의 능력을 평가할 수 있는 방법이 필요한 실정이며, 이를 위해 심장의 능력을 판단하는 연구가 시작되었다.

경주마 심장연구로는 병리해부학적인 것과 심전도를 이용한 연구결과가 다수 있으나, 이들은 질병진단에 관한 것들이 대부분이고(Marr, 1994), 특히 심장초음파 검사를 통해 심방세동이 말의 경주능력을 감소시키는 원인이 된다는 것도 알려졌다(Reef, 1995). 초음파진단기는 말에서 건과 인대 손상의 진단에 사용되고 조교 중 골질변화를 평가하는데도 이용되어 왔는데(Jeffcott 등, 1987), 심장초음파를 이용한 심장크기 측정에 대한 관심은 1977년에 Piper와 Hamlin(1977)의 연구 보고가 계기가 되었다. 그리고 실험마를 대상으로 심장초음파를 통한 측정치와 부검 후 실제 심장의 크기 및 무게 등을 비교한 결과 거의 유사한 것으로 밝혀져, M 모드 심장초음파 검사를 통해 심장의 크기와 기능을 설명할 수 있게 되었다(O'callaghan, 1985).

1980년대 중반부터 B 모드를 사용한 심장초음파 연구 보고의 계기로 실시간으로 영상에 나타난 조직의 깊이와 넓이를 측정 할 수 있게 되었다(Carlsten, 1987). 이에 B 모드와 위상차 배열 시스템(phased-array system) 심장초음파 출현은 원하는 부위에 실시간 B 모드 영상 위에 커서(cursor)를 위치시켜 유도된 M 모드 심장초음파를 취할 수 있게 되었다. 그래서 M 모드와 B 모드 심장초음파 검사의 병행으로 심장구조와 기능

을 보다 더 정확하게 평가할 수 있게 되었다(Reef, 1991). 이후 Long 등 (1992), Patteson 등(1995) 및 Blissitt 와 Bonagura(1995) 등에 의해 Thoroughbred 말에 대한 심장초음파상이 발표되어 기본 데이터로 활용 하고 있다. Young과 Scott(1998)는 최근 연구에서 말에서 M 모드로 측정된 심장크기와 심장기능 측정치는 통계적으로 재현성이 있고 신뢰할 수 있음을 밝혔고 일련의 변화를 평가하는데 매우 적절하다고 하였다.

말에서 심장크기는 운동능력을 좌우하는 최대 심박출량과 최대 산소소비 능력의 주요 결정 요소이다. 따라서 심장의 크기를 측정하여 심박출량과 더불어 경주능력을 추측할 수 있다는 이론이 제시되어 왔으며(Derman과 Noakes, 1994), 심전도상에서 QRS 주기를 측정하여 심장크기를 간접적으로 판단하는 개념의 heart score 이론이 발표되었고(Steel, 1963), heart score는 경주에 출전하여 수득한 상금액과 상관관계가 있었다고 보고하였다(Nielson과 Vibe-Peterson, 1980).

이와 같이 간접적인 방법으로 말의 심장크기 검사를 통해 경주능력 및 훈련효과를 판단하는 방법들이 다수 보고되었으나(Webb 등, 1988; Rodiek 등, 1987; Physick-Sherd, 1985; Milne 등, 1977), 심장초음파 측정에 의해 말의 조교효과와 운동능력을 평가한 연구는 아직 미미한 실정이다.

Kuramoto 등(1989)은 심장초음파로 측정된 심박출 지수는 우수 경주능력을 가진 말에서 유의성 있게 증가한다고 하였고, Paull 등(1987)은 지구력 경주마(endurance race horse) 중에서 훈련된 말과 훈련 되지 않은 말의 심장크기 변화를 심장초음파로 비교한 바, 유의성 있게 차이가 있었다고 하였다. 아울러 Young(1999)은 2세 Thoroughbred 경주마의 조교 후 심장초음파에 의한 심장의 발달을 조사하였으며, Kriz 등(2000) 및 Young 등(2002)은 Thoroughbred 말에서 표준최고부하 트레드밀운동 후 최대 산소소모량과 심장초음파를 이용 측정한 심장 크기 간에 연관성이 있음을 보고하였다.

이와 같이 심장초음파를 이용해 말의 심장크기를 판단한 기존의 연구들은 대부분 특정 시점에서 일시적으로 측정한 결과를 해당 말의 당시 능력

과 단순 비교한 정도였으며, 말의 운동능력 변화과정과 심장초음파검사 통한 심장 크기간의 경시적 연관성을 조사한 연구보고는 찾아볼 수 없었다.

특히 국내에서는 트레드밀 상에서 특정운동 조건을 적용한 Thoroughbred 말의 V₂₀₀, VLA₄, HR₇ 및 LA₈ 등을 비교 분석한 연구(Kim, 1999) 외에는 Thoroughbred 경주마에서 심장초음파를 이용한 운동생리 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 계획적인 훈련 프로그램에 의해 운동부하를 증가시키면서 일정기간 동안 조교한 Thoroughbred 말의 운동능력 향상 정도 및 심장능력의 변화를 관찰하여 심장초음파의 운동생리학적 유용성을 파악하는 것이다. 즉, 고속트레드밀을 이용해 최고부하운동을 정기적이고 규칙적으로 실시한 말에서 운동능력의 향상여부 확인과 함께 트레드밀운동 후 정지상태의 말에서 M 모드 심장초음파 검사를 통한 좌심실 크기 및 심장 기능을 측정해 심장능력의 변화를 경시적으로 조사한 후, 말의 운동능력 향상과 심장능력 증가와의 연관성을 확인함으로써 트레드밀 없이도 말의 조교효과 판단 및 운동능력 평가에 심장초음파 검사의 임상적 활용가능성을 파악하고자 본 연구를 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험동물

서울경마공원에서 실험마로 사용되고 있는 경주경험이 없고 임상적으로 심장질환 없이 건강한 5~11세 Thoroughbred 암말 6두(평균나이 7 ± 2.3 살, 평균체중 472 ± 11 kg)를 대상으로 실시하였다.

2. 조교 방법

1) 트레드밀 적응 훈련

트레드밀은 스웨덴 AB사에서 제작한 Sato I 모델을 이용하였다. 검사를 하기 전에 말이 트레드밀에서 흥분하지 않고 자연스럽게 운동할 때까지 적응 훈련을 위해 경사도 0~10%에서 2,000~3,000 m 정도의 거리를 속보운동(4.0 m/sec)과 구보운동(5~8 m/sec)을 5회 이상 실시하였다.

2) 트레드밀 조교 처방

조교는 주 5일씩 12주간 표준최고부하 트레드밀운동(standardized maximal treadmill exercise)을 실시하였다. 운동 방법은 먼저 준비운동으로 말이 트레드밀에 진입한 후 경사도 0%에서 평보운동을 시작하여 5분간 실시 후 경사도를 10%로 높이고 속보운동(4.0 m/sec)을 5분간 지속하고 다시 경사도를 0%로 내리고 평보운동(1.9 m/sec)으로 5분간 운동을 실시하였다.

준비운동이 끝난 후 트레드밀 경사도를 10%로 올리고 속도는 5 m/sec 부터 시작하여 1분 간격으로 1 m/sec씩 증가시키며 지속적으로 소리와 채찍에 의한 독려에도 불구하고 말이 더 이상 트레드밀의 속도를 따라가

지 못해 말이 뒤로 밀리는 한계점에 도달할 때까지 운동을 시켰으며 그 후 속도를 4 m/sec로 낮추고 트레드밀 경사도를 0%로 하여 속보운동을 5분간 시킨 후 1.9 m/sec 속도의 평보운동으로 15분간 마무리운동을 하였다(Fig. 1).



Figure 1. The view of standardized maximal treadmill exercise in a Thoroughbred horse.

3. 심장초음파 검사

1) 검사시기

12주간의 최고부하 트레드밀운동 조교효과를 평가하기 위해 조교 전과 조교 4주, 8주 및 12주 후에 각 1회씩 총 4회로 나누어 각 트레드밀 마무리운동을 마친 후 30분에 실시하였다.

2) 검사방법

1.5~2.6 Mhz 가변주파수 mechanical-sector 탐촉자와 B 모드, M 모드 및 펄스파 도플러 기능을 갖춘 LOGIQ TM 500 PRO 초음파진단기(GE medical system, USA)로 M 모드를 이용한 심장초음파를 촬영하여 좌심실 크기 및 심박출량 등 기능변화를 분석하였다.

초음파 검사는 말을 보정 시킨 후에 우측 겨드랑이 털을 깎고 초음파 젤을 바른 후 ECG 클립을 양쪽 앞다리와 오른쪽 뒷다리에 부착하였다. 오른쪽 심장부위 스캔을 용이하게 하기 위하여 오른쪽 앞다리는 왼쪽 앞다리 보다 약간 앞쪽으로 오게 하여 기립 정지한 상태에서 검사하였다 (Fig. 2).



Figure 2. Echocardiographic assessment using LOGIQ TM 500 PRO ultrasonography (GE Medical system, USA).

초음파용 프린터(Sony, Japan)가 연결되어 있는 기본본체에 내장된 하드 디스크 장치(HDD)에 심장초음파를 저장하여 기록하였다. 표준 심장초음파 영상 표출을 위해 B 모드와 M 모드 영상 탐색과 측정지침은 Long 등(1992)과 Patteson 등(1995)의 방법을 따랐다.

3) 심장초음파 측정

심장초음파 측정은 표준 심장초음파 영상을 본체에 저장한 후에 영상을 재생하여 LOGIQ TM 500 PRO 초음파 진단 장치에 내장된 electronic caliper를 이용하여 0.1 mm 단위까지 계측하였다. 각 구조물의 계측방법은 미국 심장초음파 협회 M 모드 표준위원회(Sahn 등, 1978)의 기준에 따라 선행변연부계측법(leading - edge to leading technic)을 활용하였고 측정항목에 엄격히 부합되는 양질의 프레임으로 5회 계측하여 평균치를 계산하였다.

4) M 모드 측정

좌심실의 크기와 기능을 측정하기 위한 B 모드와 M 모드 영상은 우흉골연(right hemithorax)에서 탐색하였고, B 모드 영상을 위하여 표준위치에서 장축 탐색을 시작하여 좌심실, 우심실 및 우심방의 전체적인 크기와 형태를 확인한 후, 우 단축 탐색을 위해 탐촉자를 시계반대 방향으로 80° ~ 90° 회전하여 건삭(chordae tendineae)수준에서 좌심실의 단축영상(short axis view)을 취한 다음 M 모드 커서를 건삭을 이등분 시키도록 좌심실 중간 부분에 위치시키고 M 모드 스위치를 작동하여 M 모드 영상을 나타냈다(Fig. 3).

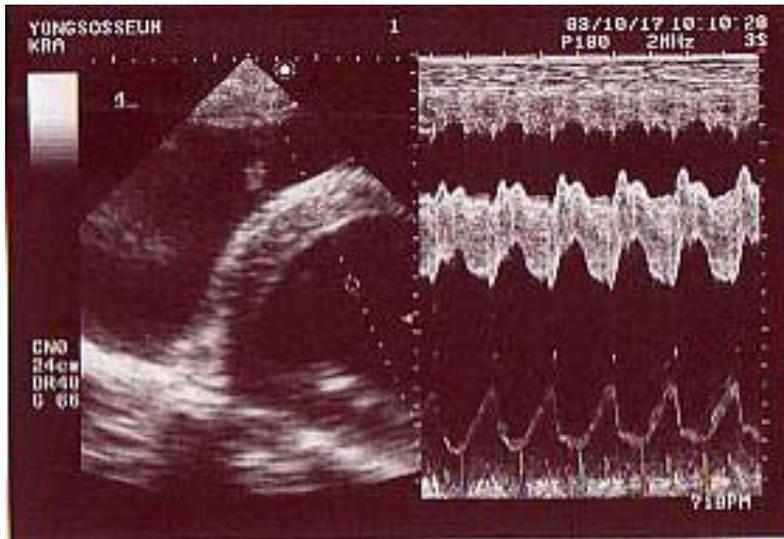


Figure 3. B and M mode short axis image of the left ventricle at chordal level. M mode obtained by the M mode cursor, which is located in the middle of the left ventricular chamber.

측정항목은 우흉골연 건삭 수준 단축단면에서 좌심실내경(LVID), 좌심실 중격두께(IVS) 및 좌심실 후벽두께(LVPW)를 각각 확장기(d)와 수축기(s)에 측정하였고, 좌심실내경은 좌측 심중격 내막과 좌심실 후벽 내막 간의 거리를 측정하였다. 심장주기의 판정은 미국 초음파 협회 M 모드 표준위원회의 기준에 따라 확장기말 내경은 ECG의 QRS complex의 시작점에서 측정하였고, 수축기말 내경은 심중격의 가장 최저점에서 측정하였다(Fig. 4).

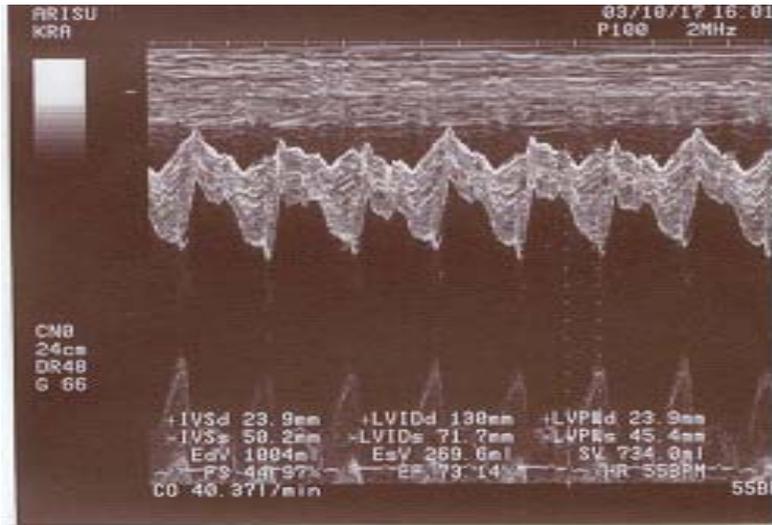


Figure 4. Echocardiogram demonstrating the determination of the left ventricular dimensions. Diastolic dimension was measured between the endocardial surface of IVS and LVPW at the start of the QRS complex of ECG. Systolic dimension was measured between the septum and the posterior wall at the lowest point of septum.

심박동수는 연속된 2개의 심장 사이클에서 심전도상 QRS complex의 시작점을 연결하여 측정하고 1회 박출량(SV), 심박출량(CO), 좌심실 구축율(EF) 및 좌심실내경 단축율(FS)은 초음파 장치에 내장된 프로그램에 의해 자동 계측되었다.

좌심실용량(LV mass)과 평균 심실벽두께(MWT)는 Devereux와 Reichek (1977) 공식을 적용하여 계산하였다.

$$\text{즉, LV mass} = 1.04 \times [(LVID_d + LVPW_d + IVS_d)^3 - LVID_d^3] - 13.6$$

$$MWT = (LVPW_d + IVS_d) \div 2$$

확장기 대동맥 직경 측정을 위한 B 모드와 M 모드 영상은 우흉골연에서 탐색했으며 대동맥관의 영상을 얻기 위하여 B 모드 스위치를 작동시키고 탐촉자를 표준위치에서 배측으로 약간 이동시키고 시계 반대방향으로 30° ~60° 회전시켜 대동맥판막(aortic valve) 수준 좌심실의 단축 영상을 취한 다음 대동맥판막이 이완기에 역 Y자모양이 만들어질 때 즉, 수축기와 이완기 동안 대동맥판막 cusps가 뚜렷이 보일 때 커서를 대동맥을 이등분한 상태에 놓은 다음 M 모드 스위치를 작동시켜 M 모드 영상을 표출하였다. 그리고 대동맥내경은 확장기말기에 측정하였다(Fig. 5).

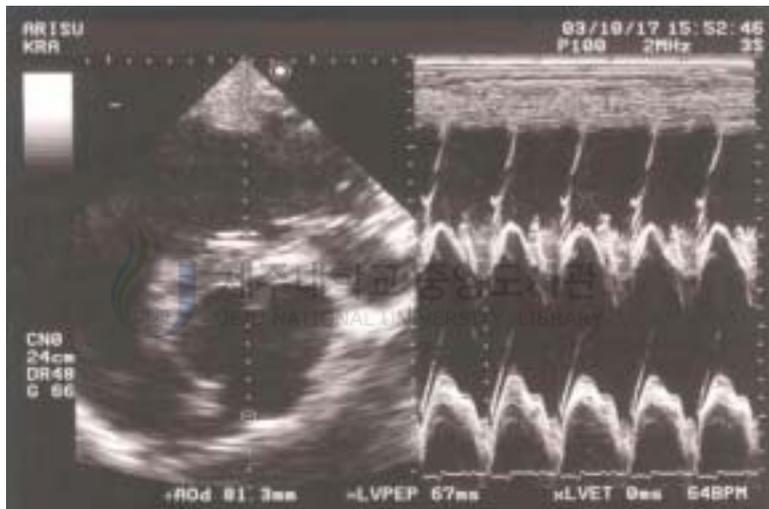


Figure. 5. The right parasternal short axis view at the aortic valve level. The cursor was positioned to bisect the aorta and the M mode image was considered acceptable if one of the valve cusps could be seen clearly during systole and diastole. The aortic diameter was measured in diastole.

4. 조교효과 평가

1) 시기 및 방법

12주간 최고 부하 트레드밀운동 조교효과를 평가하기 위해 조교 전과 조교 4주, 8주 및 12주 후에 각 1회씩 총 4회로 나누어 최대심박동수 (HR_{max}), 최대심박동수 트레드밀속도($V-HR_{max}$) 측정 및 혈액에서 젖산 등의 검사를 실시하였다.

2) 최대심박동수 측정

트레드밀운동 중 최대심박동수 측정을 위해서 심박동수 측정용 송신장치(Polar vantage NVTM)를 전극과 연결한 후 줄의 이상여부를 확인하고 송신기 전극에 통전을 촉진하기 위해 전용 겔(gel)을 충분히 바른 후 복대를 정착하고 송신기 (-)전극을 좌측 복벽 심장부에 정착하고 송신기 (+)전극을 우측 기갑부에서 약 10~20cm 아래 복대 밑이나 안장 속에 정착하였다. 송신기를 정착하고 복대를 단단하게 조여 송신기가 운동 중에 이탈하지 않도록 하였다(Fig. 6).



Figure 6. The view of telemetry electrocardiogram and application of electrodes.

운동 중 심박동수는 심박동수모니터를 이용하여 측정 및 저장하였는데 심박동수모니터는 송신기로부터 1 m이상 떨어지지 않게 하였다. 운동 종료 후 심박동수 분석을 위해 Polar 심박동기용 컴퓨터 프로그램을 이용하여 최대심박동수를 확인하였다.

3) 최대심박동수 트레드밀속도 측정

경사도 10%의 트레드밀 위에서 운동속도 5 m/sec부터 시작하여 매 분마다 1 m/sec씩 증가시키며, 소리와 채찍으로 말을 몰아 말이 트레드밀운동 속도를 더 이상 감당하지 못해 뒤로 밀릴 때의 주행 한계속도에서 나타나는 최대심박동수 트레드밀운동 속도와 해당속도 지속시간을 측정하였다. 통계처리를 위해 해당속도 지속시간(sec)을 60으로 나누어 그 값을 트레드밀운동 속도 값의 소수점 이하 자리 값으로 환산하였다

4) 혈액검사

(1) 혈액채취

혈액 채취는 좌측 경정맥 중간 부위의 털을 깎고, 알코올 솜으로 소독을 한 후 14G 일회용 주사기로 트레드밀 마무리운동 종료 직후에 적당량을 채혈하였다.

(2) 혈액검사 방법

혈장 젖산농도는 YSI model 1500 sport를 이용하여 측정하였고, 적혈구수, 백혈구수 및 헤모글로빈농도는 자동혈구계산기(Serono 9000)를 이용하였으며 AST 및 CPK는 Ectachem(Kodak, Japan)으로 측정하였고, 적혈구용적(PCV)은 microhematocrit법, 총 단백질량은 reflectometer로 측정하였다.



5. 통계학적 분석

트레드밀운동 조교 전과 조교 4주, 8주 및 12주 후에 심장초음파, 최대심박동수, 최대심박동수 트레드밀속도 및 젓산농도 등의 혈액검사 값은 SAS 프로그램의 다중분산분석(ANOVA)을 이용하여 유의성을 검증하였다. F value가 인정될 때 Duncan 검정으로 조교기간에 따른 구간별 유의성을 검정하였다. 모든 검정의 유의수준은 $P < 0.05$ 로 하였다.



III. 결 과

최고부하 트레드밀운동 조교효과 평가를 위해 조교 전과 조교 4주, 8주, 12주 후에 각 1회씩 총 4회 M 모드를 이용한 심장초음파로 심장 크기 및 박출량 등 기능변화를 분석하였고, 트레드밀 조교기간 중 최대심박동수, 최대심박동수 트레드밀속도 및 혈액학치와 혈액 생화학치를 측정하였다.

트레드밀 조교에 따른 심장크기는 표 1과 같이 조교기간 증가에 따라 심장초음파에 의한 확장기 좌심실내경(LVIDd)은 조교 전에는 110.4 ± 2.59 mm이었으나 조교 4주, 8주 및 12주 후는 각각 111.8 ± 2.44 mm, 113.9 ± 2.47 mm 및 115.4 ± 2.50 mm로 증가하였다. 즉, 조교 전에 비해 확장기 좌심실내경이 4주 후에는 약간 증가하였으나 8주와 12주 후 증가는 유의차가 인정되었다($P < 0.05$). 조교 4주 후를 기준으로 12주 후도 유의성 있게 증가되었다($P < 0.05$). 12주 후 확장기 좌심실내경은 조교 전에 비해 약 4.5% 증가하였는데 이는 심실이 박출할 수 있는 혈액량의 증가를 나타낸다. 수축기 좌심실내경(LVIDs)은 조교 전에는 63.9 ± 2.58 mm이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 64.5 ± 2.49 mm, 65.1 ± 2.65 mm 및 66.9 ± 2.36 mm으로 약간씩 증가하였다.

확장기 좌심실 중격두께(IVSd)는 조교 전에는 27.4 ± 1.35 mm이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 27.7 ± 1.42 mm, 28.4 ± 1.41 mm 및 28.7 ± 1.34 mm로 증가하였다. 수축기 좌심실 중격(IVSs)도 조교 전에는 39.2 ± 1.56 mm이었고 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 39.3 ± 1.53 mm, 39.5 ± 1.53 mm 및 40.1 ± 1.42 mm로 약간 증가하는 경향이 있으나 큰 차이는 없었다.

확장기 좌심실 후벽 두께(LVPWd) 변동은 조교 전에는 24.7 ± 1.30 mm이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 24.9 ± 1.35 mm, 25.4 ± 1.33

mm 및 25.9 ± 1.40 mm로 증가하였다. 수축기 좌심실 후벽두께(LVPWs)는 조교 전에는 37.5 ± 1.65 mm이었고 조교 4주, 8주 및 12주 후에 각각 37.3 ± 1.64 mm, 36.8 ± 1.58 mm 및 36.2 ± 1.52 mm로 감소하는 경향은 있으나 변동 폭은 적었다. 평균 심실벽두께(MWT)는 조교 전에는 26.1 ± 1.30 mm이었고 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 26.3 ± 1.34 mm, 27.1 ± 1.32 mm, 27.5 ± 1.32 mm로 약간씩 증가된 결과를 보였다. 좌심실에서 기시되는 확장기 대동맥내경(Aod) 변화는 역시 조교 전에는 75.1 ± 1.52 mm이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 75.3 ± 1.57 mm, 75.6 ± 1.55 mm 및 76.2 ± 1.59 mm로 약간 증가하였으나 각각의 측정값에는 유의차가 인정되지 않았다.



Table 1. Effects of treadmill training during 12 weeks on cardiac dimensions in 6 Thoroughbred horses. (Mean±SD)

| (mm) | Pre-training | 4 weeks | 8 weeks | 12 weeks |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| LVIDd* | 110.4±2.59 ^a | 111.8±2.44 ^{a,b} | 113.9±2.47 ^{b,c} | 115.4±2.50 ^c |
| LVIDs** | 63.9±2.58 | 64.5±2.49 | 65.1±2.65 | 66.9±2.36 |
| IVSd*** | 27.4±1.35 | 27.7±1.42 | 28.4±1.41 | 28.7±1.34 |
| IVSs**** | 39.2±1.56 | 39.3±1.53 | 39.5±1.53 | 40.1±1.42 |
| LVPWd [†] | 24.7±1.30 | 24.9±1.35 | 25.4±1.33 | 25.9±1.40 |
| LVPWs ^{††} | 37.5±1.65 | 37.3±1.64 | 36.8±1.58 | 36.2±1.52 |
| MWT ^{†††} | 26.1±1.30 | 26.3±1.34 | 27.1±1.32 | 27.5±1.32 |
| Aod ^{††††} | 75.1±1.52 | 75.3±1.57 | 75.6±1.55 | 76.2±1.59 |

^{a-c}For each variable, values with different superscript letters are significantly (P<0.05) different.

LVIDd* : Left ventricular internal diameter at end-diastole

LVIDs** : Left ventricular internal diameter at end-systole

IVSd*** : Interventricular septal thickness at end-diastole

IVSs**** : Interventricular septal thickness at end-systole

LVPWd[†]: Left ventricular posterior wall thickness at end-diastole

LVPWs^{††}: Left ventricular posterior wall thickness at end-systole

MWT^{†††}: Mean wall thickness

Aod^{††††} : Aortic root dimension at end-diastole

12주간 트레드밀 조교에 따른 좌심실 기능 변화는 표 2와 같이 좌심실 크기 증가에 따라 영향을 받아 1회 박출량(SV)은 조교 전에 $1,083 \pm 64.7$ ml이었으며 조교 4주 후에는 $1,131 \pm 61.6$ ml로 약간 증가하였고 조교 8주 및 12주 후에는 각각 $1,202 \pm 64.0$ ml, $1,239 \pm 71.3$ ml로서 조교 전에 비해 조교 8주와 12주 후에 각각 유의성 있게 증가하였다($P < 0.05$). 조교기간 중 구간별 유의차는 4주 후와 12주 후는 유의차가 인정되었다($P < 0.05$).

심박출량(CO)은 조교 전에는 37.3 ± 5.43 l/min이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 80.6 ± 2.90 l/min, 86.9 ± 4.95 l/min 및 91.6 ± 6.14 l/min 로서 조교 전 보다 모두 유의성 있게 증가하였으며($P < 0.05$) 조교기간 중 4주 후를 기준으로 한 경우도 8주와 12주 후에서 구간별 유의차가 인정되었다($P < 0.05$).

좌심실 구축율(EF)은 조교 전에 $80.6 \pm 1.13\%$ 이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에 각각 $80.8 \pm 0.99\%$, $81.3 \pm 1.13\%$ 및 $80.5 \pm 0.97\%$ 로 큰 변동이 없었다. 좌심실내경 단축율(FS)도 좌심실 구축율과 유사하게 조교 전에는 $43.6 \pm 1.14\%$ 이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에 각각 $43.3 \pm 1.04\%$, $42.9 \pm 1.17\%$ 및 $42.1 \pm 0.98\%$ 로 큰 변동이 없었다.

좌심실용량(LV mass)은 조교 전에는 $3,074 \pm 329.7$ g이었으며 조교 4주 및 8주 후에 각각 $3,179 \pm 341.3$ g, $3,397 \pm 348.0$ g으로 약간 증가하였고 12주 후에는 $3,547 \pm 362.4$ g로 조교 전에 비해 15% 증가하여 유의차를 보였다($P < 0.05$).

Table 2. Effects of treadmill training during 12 weeks on indices of cardiac functions in 6 Thoroughbred horses. (Mean±SD)

| | Pre-training | 4 weeks | 8 weeks | 12 weeks |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| SV* (ml) | 1,083±64.7 ^a | 1,131±61.6 ^{a,b} | 1,202±64.0 ^{b,c} | 1,239±71.3 ^c |
| CO** (ℓ/min) | 37.3±5.43 ^a | 80.6±2.90 ^b | 86.9±4.95 ^c | 91.6±6.14 ^c |
| EF*** (%) | 80.6±1.13 | 80.8±0.99 | 81.3±1.13 | 80.5±0.97 |
| FS**** (%) | 43.6±1.14 | 43.3±1.04 | 42.9±1.17 | 42.1±0.98 |
| LV [†] mass (g) | 3,074±329.7 ^a | 3,179±341.3 ^{a,b} | 3,397±348.0 ^{a,b} | 3,547±362.4 ^b |

^{a-c}For each variable, values with different superscript letters are significantly (P<0.05) different.

SV* : Stroke volume

CO** : Cardiac output

EF*** : Ejection fraction

FS**** : Fractional shortening of the left ventricle

LV[†] : Left ventricular

최대심박동수 변동은 표 3과 같이 최고부하 트레드밀운동 중 최대심박동수(HR_{max})가 조교 전에는 225±7.3 beat/min 이었고 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 222±6.7 beat/min, 219±6.0 beat/min 및 217±5.2 beat/min 로 점차 감소하였으나 구간 간에 유의차는 인정되지 않았다. 운동 중 최대심박동수에 도달하는 트레드밀속도(V-HR_{max})는 조교 전 8.9±0.36 m/sec에서 조교 4주 후에 9.1±0.37 m/sec로 약간 증가하였고 8주와 12주 후에는 각각 9.9±0.32 m/sec, 10.1±0.28 m/sec로 유의성 있게 증가하였다(P<0.05).

Table 3. Effects of treadmill training during 12 weeks on maximal heart rate in 6 Thoroughbred horses. (Mean±SD)

| | Pre-training | 4 weeks | 8 weeks | 12 weeks |
|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| HR _{max} [*] (beat/min) | 225±7.3 | 222±6.7 | 219±6.0 | 217±5.2 |
| V-HR _{max} ^{**} (m/sec) | 8.9±0.36 ^a | 9.1±0.37 ^a | 9.9±0.32 ^b | 10.1±0.28 ^b |

^{a-b}For each variable, values with different superscript letters are significantly (P<0.05) different.

HR_{max}^{*} : Maximal heart rate

V-HR_{max}^{**} : The treadmill speed at which maximal heart rate is achieved

트레드밀 조교 전후 혈액학적 변동은 표 4와 같이 적혈구수는 조교 전과 조교 4주 후에 각각 $9.2 \pm 0.87 \times 10^6/\mu\text{l}$, $9.7 \pm 0.95 \times 10^6/\mu\text{l}$ 이었으나 조교기간이 길어짐에 따라 증가하여 조교 8주 후에는 $10.8 \pm 0.60 \times 10^6/\mu\text{l}$ 로 유의성 있게 증가한($P < 0.05$) 반면 12주 후에는 $10.1 \pm 0.58 \times 10^6/\mu\text{l}$ 으로 8주 후에 비해 약간 감소하였다.

백혈구 수는 조교 전에는 $6.7 \pm 0.84 \times 10^3/\mu\text{l}$ 이었으나 조교 4주와 8주 후에 각각 $8.0 \pm 0.50 \times 10^3/\mu\text{l}$, $7.7 \pm 0.75 \times 10^3/\mu\text{l}$ 으로 유의성 있게 증가한 후($P < 0.05$), 12주 후에는 $7.0 \pm 0.69 \times 10^3/\mu\text{l}$ 으로 조교 전 수준으로 감소하였다.

헤모글로빈 농도 변동은 조교 전과 조교 4주 후에 각각 $15.2 \pm 1.54 \text{ g}/100\text{ml}$, $15.8 \pm 1.49 \text{ g}/100\text{ml}$ 이었으나 조교 8주 후에는 $17.9 \pm 0.85 \text{ g}/100\text{ml}$ 로 유의성 있게 증가한 후($P < 0.05$) 12주 후에는 $15.8 \pm 1.31 \text{ g}/100\text{ml}$ 으로 적혈구수의 경우와 유사하게 조교 전 수준으로 감소되었다. PCV 변동도 조교 전에는 $42.7 \pm 4.18\%$ 이었으나 조교가 진행됨에 따라 조교 4주와 8주 후에 각각 $46.3 \pm 3.12\%$, $49.7 \pm 2.33\%$ 로 증가하였고 12주 후에는 $46.1 \pm 2.19\%$ 로 8주 후에 비해 감소되었다.

Table 4. Effects of treadmill training during 12 weeks on hematology in 6 Thoroughbred horses. (Mean \pm SD)

| | Pre-training | 4 weeks | 8 weeks | 12 weeks |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| RBC ($10^6/\mu\text{l}$) | 9.2 ± 0.87^a | 9.7 ± 0.95^a | 10.8 ± 0.60^b | $10.1 \pm 0.58^{a,b}$ |
| WBC ($10^3/\mu\text{l}$) | 6.7 ± 0.84^a | 8.0 ± 0.50^b | $7.7 \pm 0.75^{b,c}$ | $7.0 \pm 0.69^{a,c}$ |
| Hb (g/100ml) | 15.2 ± 1.54^a | 15.8 ± 1.49^a | 17.9 ± 0.85^b | 15.8 ± 1.31^a |
| PCV(%) | 42.7 ± 4.18^a | $46.3 \pm 3.12^{a,b}$ | 49.7 ± 2.33^b | $46.1 \pm 2.19^{a,b}$ |

^{a-c}For each variable, values with different superscript letters are significantly ($P < 0.05$) different.

트레드밀 조교 전후의 혈액 생화학치 변화는 표 5와 같다. 조교진행에 따른 혈중 젖산농도 변화는 조교 전에 9.1 ± 1.33 mmol/ℓ, 조교 4주 후에는 9.0 ± 1.30 mmol/ℓ으로 약간 감소하였으나 8주 및 12주 후에는 각각 6.0 ± 1.08 mmol/ℓ, 5.1 ± 1.24 mmol/ℓ로 유의성 있게 감소하였다($P < 0.05$). 조교기간 증가에 따른 총 단백질량 변동은 조교 전에는 4.8 ± 0.36 g/100ml이었으며 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 5.6 ± 0.13 g/100ml, 6.4 ± 0.29 g/100ml, 7.0 ± 0.34 g/100ml으로 조교기간 구간 간에 유의성 있게 증가하였다($P < 0.05$).

Table 5. Effects of treadmill training during 12 weeks on blood lactate and TP in 6 Thoroughbred horses. (Mean±SD)

| | Pre-training | 4 weeks | 8 weeks | 12 weeks |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Lactate (mmol/ℓ) | 9.1 ± 1.33^a | 9.0 ± 1.30^a | 6.0 ± 1.08^b | 5.1 ± 1.24^b |
| Total protein (g/100ml) | 4.8 ± 0.36^a | 5.6 ± 0.13^b | 6.4 ± 0.29^c | 7.0 ± 0.34^d |

^{a-d}For each variable, values with different superscript letters are significantly ($P < 0.05$) different.

트레드밀 조교기간 중 혈중 AST 활성도 변동은 표 6과 같이 조교 전에는 183.2 ± 12.50 U/l 이었으며 조교 4주 후에는 249.0 ± 32.87 U/l 로 유의성 있게 증가하였고($P < 0.05$), 8주 및 12주 후에는 각각 301.3 ± 78.58 U/l, 418.3 ± 121.08 U/l 으로 증가는 하였지만 조교기간 구간별 유의성은 인정되지 않았다.

혈중 CPK 활성도 변동은 조교 전에는 122.0 ± 24.22 U/l 이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 171.0 ± 30.77 U/l, 220.2 ± 86.43 U/l 및 218.7 ± 65.56 U/l 으로 모두 조교 전에 비하여 유의성 있게 증가하였다($P < 0.05$).

Table 6. Effects of treadmill training during 12 weeks on muscle-derived enzymes in 6 Thoroughbred horses. (Mean \pm SD)

| | Pre-training | 4 weeks | 8 weeks | 12 weeks |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| AST (U/l) | 183.2 ± 12.50^a | 249.0 ± 32.87^b | 301.3 ± 78.58^b | 418.3 ± 121.08^b |
| CPK (U/l) | 122.0 ± 24.22^a | 171.0 ± 30.77^b | 220.2 ± 86.43^b | 218.7 ± 65.56^b |

^{a-b}For each variable, values with different superscript letters are significantly ($P < 0.05$) different.

IV. 고 찰

운동생리학 연구 목적중의 하나는 경주마의 잠재능력을 예측하는 것이고 경주마를 선발할 때 주된 관점은 평균치 이상의 능력을 예측하여 우수마를 선택하는 것이다(Lightowler 등, 2004).

Thoroughbred 말 산업계에서는 심장이 큰 말이 경주마로 성공한다고 오랫동안 믿어오고 있다. 오늘날 이러한 관심으로 인해 세계의 유명 1세마 거래(yearling sale)시장에서 심장크기를 측정하기 위하여 심장초음파나 심전도계 사용이 증가하고 있다(Young, 2003). 26연승을 한 역사상 최고의 경주마인 Eclipse의 심장무게가 보통 말보다 20% 더 무거운 약 6 kg이었다는 것이 밝혀져 이러한 경향은 더욱 촉진되었다(Kubo 등, 1974). 기록적인 미국 3관마인 Secretariat는 심장무게가 10 kg이상으로 심박출량이 500 l/min이고 최대 산소소비량(VO_{2max})은 240 ml/min 이상이었다(Betros 등, 2002). 최근에 영국의 헛트 경주(National hunt racing)에 출주했던 경주마 200두를 심장초음파로 심장크기를 측정한 결과 경주능력과 유의성 있게 비례관계가 있다고 보고하였다(Young과 Wood, 2001).

경주마의 운동능력 평가에 대한 접근 방법이 발전해 온 양상을 살펴보면 상당히 흥미롭다. 과거에 주목을 받아왔던 방법들은 젖산분석기를 이용하여 운동 할 때에 젖산농도가 4 mmol/l에 도달하는 속도를 나타내는 혈장 젖산 축적 시점인 VLA_4 를 측정하거나, 심박동기를 이용하여 심장혈관계 능력을 비교하는 유용한 지표로서 심박동수가 200회와 최대심박동수에 이르는 트레드밀속도를 각각 의미하는 V_{200} 과 $V-HR_{max}$ 를 측정 또는 심전도를 이용한 심장지수(heart score)를 측정하는 것들이었다. 심전도를 이용하는 것은 그다지 복잡하지 않아 심장지수를 산출하여 어린 경주마들의 경주능력 평가방법으로 제시되었다(Steel과 Steward, 1974; Nielsen과 Vibe-Peterson, 1980; Leadon 등, 1982; Illegra와 Illegra,

1986). 그러나 Sampson 등(1999)은 심장지수가 산소소비량(VO_2), 심박출량 및 1회 박출량 값들과는 아무런 연관성이 없다는 연구결과를 보고하며 심장지수는 경주마 운동능력을 판단하는데 중요한 지표가 아니라고 하였다. 따라서 최근에는 심장초음파를 이용하거나 운동능력 양적 수치를 나타내는 VO_{2max} 을 이용하여 심장의 능력을 판단하려는 경향이 많다. 비록 VO_{2max} 수치가 경주마 운동능력을 나타내는 좋은 지표이지만 측정을 위해서는 비용이 많이 들고 트레드밀과 호흡가스 분석 장치 등 복잡한 장비가 요구되므로 특정 실험실에서만 측정되어져 왔다. 반대로 초음파를 이용한 심장측정은 절차가 복잡하지 않아 여러 환경에서도 쉽게 수행할 수 있으므로 경마산업에 있어서 상당한 흥미와 경주능력 판단에 큰 이득을 가져다주고 있다(Sampson 등, 1999).

Grossman 등(1975)은 사람에서 좌심실 비대 기전에 대해 설명하면서 심장비대는 근섬유 생성 패턴에 따라 적응반응을 2가지 유형으로 정의하였다. 즉, 근섬유 분량이 늘어나서 내강용량이 심방과 심실 부피와 같이 증가하거나, 동시에 심실 벽이 두꺼워지는 것이다. 심장 전부하(preload)가 증가하게 되면 확장기에 심실벽 부담이 증가하여 근섬유의 증가와 동시에 확장기 내강 부피의 증가가 나타난다. 반대로 수축기 심실벽 부담이 증가하면 근섬유가 늘어남과 동시에 심실벽이 더 두꺼워진다. 지구력 훈련은 확장기 부하를 증가시켜 이에 보상적으로 확장기 부피가 증가하게 되고 심실벽의 두께는 거의 변화가 없다. 이런 반응은 마라톤 선수에게서 나타난다(Fagard, 1996; Huonker 등, 1996).

본 연구에서도 심장의 변화는 확장기 좌심실내경이 조교 전에 110.4 ± 2.59 mm에서 조교 12주 후에는 115.4 ± 2.50 mm로 약 4.5%의 증가가 관찰되었고 수축기 좌심실내경(LVIDs)은 조교 전에는 63.9 ± 2.58 mm이었으며 조교 4주, 8주 및 12주 후에 각각 64.5 ± 2.49 mm, 65.1 ± 2.65 mm 및 66.9 ± 2.36 mm로 약간 증가하였다. Young(1999)은 Thoroughbred 2세마를 18주 동안 경주로 조교를 마친 후에 심장초음파를 측정한 결과 조교 전 보다 확장기 좌심실내경이 7% 증가하였다고 하였는데, 본 연구에서는 4.5%

증가하였다. 이와 같은 확장기 좌심실내경 증가율 차이는 연구 대상마의 연령 및 조교 강도 차이로 사료된다.

본 연구에서 검사된 6두의 Thoroughbred 말에서 좌심실내경 직경의 증가가 관찰되었고, 이를 통한 12주간의 트레드밀운동 조교로 지구력이 증가되는 방향으로 심장이 적응한다는 것을 알 수 있었다. 좌심실내경 증가는 Starling 법칙에 의해 심실에 많은 양의 혈액이 들어가게 되고 이것은 심실 근을 늘어나게 하여 심실이 보유 또는 박출할 수 있는 혈액량이 증가 하였다는 것을 의미한다. 조교 전과 비교하여 조교 구간별 수축기 좌심실내경, 확장기와 수축기 좌심실중격, 확장기 좌심실 후벽두께, 평균 심실벽두께 및 확장기 대동맥내경 등은 약간 증가 하였고 수축기 좌심실 후벽두께는 약간 감소하였다.

이러한 결과를 통해 12주 트레드밀 조교 기간 중 심장크기가 증가하였다는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 확장기의 심장크기 측정치는 증가하였지만 수축기 좌심실 후벽두께는 조교를 하면서 감소하였다. 수축기 좌심실 후벽두께가 감소하는 것은 좌심실 벽의 수축력을 감소시킨다고 생각되지만 이는 전반적으로 심근의 두께가 증가함에 따라 오히려 심실 벽 부분에서의 수축력을 증가시키는 것으로 볼 수 있다.

본 연구의 트레드밀운동 조교에 따른 결과를 본다면 말에서 수축기 기능에 대한 운동 영향을 특정화하기 위한 연구가 더 요구된다. 좌심실 벽 두께 증가는 트레드밀운동 상태에서 좌심실에 가해지는 부하에 의해서 이루어진 결과로서 좌심실의 펌프력 증가를 의미하는 것이다.

Thoroughbred 말의 심맥관계가 우수한 것은 다른 대동물 보다 체격에 비해 상대적으로 심장(Gunn, 1989)과 비장(Poole과 Erickson, 2005)이 큰 것에 기인한다. 말의 심맥관계는 심박동수가 20~240 beat/min으로 적응 폭이 매우 넓고, 비장이 적혈구세포 보존 능력을 가지고 있어 최고부하운동 시 PCV와 산소 운반능력을 2배로 증가시킬 수 있기 때문이다 (McKeever 등, 1993). 말의 이러한 적응 능력은 분명히 산소 운반능력을 최대화시킬 수 있는 매우 큰 장점이다. 최대심박동수는 최대 심

박출량을 결정하는데 중요하지만 기본적으로는 1회 박출량과 심장크기에 의해 결정된다. 결과적으로 말 심장의 1회 박출량은 마체의 유산소 운동 능력을 결정하는데 대단히 중요한 요소이다(Young, 2003).

Sampson 등(1999)에 의하면 심장초음파를 통한 심박출량 측정치와 Fick 측정법(Evans와 Rose, 1988b)에 의한 공식으로 계산된 수치가 운동 전에는 별다른 차이가 없었지만 운동 후 측정에서는 차이가 많이 난다고 하였다. 기존 발표된 보고에서 최고부하이하 트레드밀운동 실험에서 측정된 1회 박출량은 각각 1250 ml (Evans와 Rose, 1988a) 또는 1700 ml(Butler 등, 1991)으로 운동전 안정 시에 비해 각각 20~50% 증가되었다(Thomas와 Fregin, 1981; Thornton 등, 1983). Evans와 Rose(1988a)는 Thoroughbred 말에서 최고부하 트레드밀운동 중의 심박출량은 355 l/min과 277 l/min 이었다고 하였는데 본 연구의 측정값은 이에 비해 적은 값을 나타냈다. 이러한 차이는 운동 30분 후에 측정된 결과로 운동 후 휴식에 의해 심박동수가 감소된 것에 기인한 것으로 여겨진다.

말에서 조교운동이 심박출량과 1회 박출량에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 연구된 것이 드물지만, 몇몇 연구에 따르면 조교운동이 운동 전후에 나타나는 심박출량이나 1회 박출량에 영향을 미치지 않는다고 하였고(Thomas 등, 1983; Bayly 등, 1983; Milne 등, 1977; Thornton 등, 1983), Paull 등(1987)은 지구력 말(endurance horse)을 대상으로 심장초음파 연구에서 1회 박출량이 훈련된 말과 훈련을 받지 않은 말이 서로 유의성 있는 차이가 없다고 하였다. 그러나 이러한 결과는 두 시험군에서 유의성 있는 심박동수 차이에 영향을 받았기 때문으로 판단된다. 이는 심근 수축력이 부분적으로 심박동수에 좌우되기 때문이다(Detweiler, 1984).

반면 Thomas 등(1983)은 경사도 11.5%에서 12 km/h 속도로 트레드밀 조교 후 1회 심박출량이 10% 증가하였다고 하였다. 이런 결과는 심박동수 150 beat/min의 속도로 속보운동을 10주간 실시한 뒤의 결과

었다. 그렇지만 최고부하이하 조교 후 심박동수가 감소되는 경향으로 운동 중 심박출량의 변화는 없다고 하였다. 다른 트레드밀운동 연구에서는 최고부하이하 운동시험 중 1회 박출량 변화를 제시하지 않았다(Bayly 등, 1983; Thornton 등, 1983). 한 연구에 의하면 최고부하운동 동안 1회 박출량의 유의성 있는 증가와 함께 최대산소소비량이 23% 증가하였다고(Evans와 Rose, 1988b) 보고하였다.

Knight 등(1991)은 조교를 중단한 후 휴양 시작 6주 후에 1회 박출량이 $1,426 \pm 50$ ml에서 $1,271 \pm 68$ ml로 11% 감소하였다고 하였다. 사람의 경우 트레이닝으로 인한 최대 1회 박출량의 증가는 좌심실 확장말기 용적의 증가와 관련이 있으며, 이것은 종종 트레이닝 정도를 나타내는 하나의 지표로 활용한다(Tipton, 1984; Scheuer와 Tipton, 1977). 최고부하 트레드밀 조교시험동안 1회 박출량과 심박출량에 대한 운동효과 연구는 사람의 경우처럼 훈련의 초기단계에 변이가 심하기 때문에 복잡하다(Blomquist와 Saltin, 1983).

1회 박출량은 1회 수축 시 심실에서 빠져 나가는 혈액의 양으로 심박출량은 심박동수와 1회 박출량에 따라 결정된다. 심박출량의 증가는 운동을 하는 동안 산소의 운반 능력의 증가를 의미한다(Evans, 1994). 본 연구에서는 조교 전 1회 박출량은 $1,083 \pm 64.7$ ml으로 Sampson 등(1999)의 측정치인 1회 박출량 1,046 ml과 유사한 성적을 나타냈고, 조교 전에 비해 조교 8주와 12주 후에 각각 $1,202 \pm 64.0$ ml, $1,239 \pm 71.3$ ml로 유의성 있게 증가하였다. 한편 심박출량은 조교 전 37.3 ± 5.43 l/min에서 조교 4주 후에 80.6 ± 2.90 l/min으로 높은 증가가 있었으나 이러한 증가는 운동전, 후 측정시기 차이에 따른 심박동수의 변화에 크게 영향을 받은 것으로 사료되며, 조교 8주와 12주 후에는 각각 86.9 ± 4.95 l/min, 91.6 ± 6.14 l/min으로 조교 후 4주 기준으로 유의성 있는 증가가 있었다($P < 0.05$). 따라서 본 연구에서 심박출량 증가에 따른 의미 있는 운동 중 산소의 운반 능력 증가는 조교 8주 후에 나타나는 것을 알 수 있었다.

Young(1999)은 2세마의 경주로 조교시험에서 조교 후 좌심실 구축율과 좌심실내경 단축율이 모두 감소되었다고 한 반면, Patteson(1993)은 트레드밀 조교 후에 상승되었다는 서로 상반된 결과치를 보고하였다.

본 연구에서는 12주간 트레드밀 조교 후 좌심실 구축율과 좌심실내경 단축율이 조교 전 각각 $80.6 \pm 1.13\%$ 와 $43.6 \pm 1.14\%$ 에서 조교 12주 후에 $80.5 \pm 0.97\%$ 와 $42.1 \pm 0.98\%$ 로 큰 변동이 없었다. 이러한 차이점은 운동종류에 따라 후부하와 전부하가 다르게 변화되며 기타 여러 요인들도 영향을 미쳤기 때문이다. 즉, 운동의 종류에 따라 심장부하에 미치는 영향은 각각 다르고(Colan, 1992) 안정된 상태에서 좌심실 구축율과 좌심실내경 단축율은 심장 부하상태, 수축정도 및 심박동수에 영향을 받는다고 하였다(Vuille와 Weyman, 1994).

Young 등(2002)은 18두의 Thoroughbred 경주마를 대상으로 심장초음파에 의한 심장크기와 최대산소소비량과의 관계를 연구하였는데 좌심실용량과 최대산소소비량과는 매우 큰 연관성이 있다고 하였다. Lightowler 등(2004)은 48두의 Thoroughbred 말과 Thoroughbred계 말을 사용하여 잠재 경주능력 평가 연구에서 좌심실용량이 심장크기 및 심장무게와 유의성 있게 비례한다는 것을 밝혀 심장초음파를 통한 심장의 해부학적 구조를 평가하여 좌심실용량을 계산하는 것이 경주능력을 예측하기 위한 적절한 방법이라 하였다.

Buhl 등(2005)은 Standardbred 경주마 103두를 대상으로 6개월 동안 조교 후 4회 심장초음파를 측정하여 심장크기와 경주능력에 대해 연구하였는데 기간 중 좌심실내경, 좌심실용량 및 평균 좌심실 벽두께가 증가되어 유의성 있게 심장크기가 커졌다고 하였고, 규칙적으로 경주에 출전하는 경주마가 미 출주마 보다 확장기 좌심실내경과 좌심실용량의 증가를 보여 좌심실 크기와 경주능력과는 유의성 있는 관계가 관찰되었다고 하였다.

본 연구에서 나타난 좌심실용량 증가는 조교 전 $3,074 \pm 329.7$ g에서 조교 12주 후에 $3,547 \pm 362.4$ g으로 15% 증가하였는데, Young(1999)

이 2세마 조교 후 측정된 결과 33% 증가한 것에 비하면 절반 수준정도 증가한 것에 불과하였다. 이러한 차이는 Young은 성장기인 2세마를 경주로부터 1주에 6일 동안 점점 강도가 높아지는 프로그램을 거쳤고 본 연구는 성장이 완료된 5세 이상의 Thoroughbred 말을 사용하여 일정한 표준운동 즉, 준비운동, 본운동 및 마무리운동으로 고정된 운동 프로그램을 이용하였기 때문이라 추정된다.

아울러 Young 등(2005)은 장애물 경주와 장거리 경주에서 좌심실용량이 경주능력과 큰 관계가 있다고 하였다. 본 연구에서도 12주간의 트레드밀운동 조교로 확장기 좌심실내경 및 좌심실용량이 증대되어 심장비대(cardiac hypertrophy) 효과가 나타났으며, 이로 인해 1회 박출량 및 심박출량이 증가되어 심실의 수축력 증대로 심실의 박출 능력이 향상되었음을 추론할 수 있다.

경주마의 운동 중 심박동수 측정은 운동의 강도, 운동능력의 측정 및 조교효과를 조사하기 위해 사용되어 왔다(Evans, 1994). 표준트레드밀 운동 검사를 이용할 경우, 심박동수와 운동강도의 관계는 심박동수 120~210 beat/min 범위에서는 개체에 따라 매우 정확하게 재현성이 있다(Evans와 Rose, 1988c).

말에서 최대심박동수는 개체별로 재현성이 높지만 조교에 의해 영향을 받지 않아 운동능력의 평가에는 중요하지 않다고 하였으며(Seeherman과 Morris, 1990; Evans와 Rose, 1988b), Foreman 등(1990)은 800 m/min의 속도로 880 m 구보조교 후 최대심박동수 변화가 없다고 하였고, Evans와 Rose(1988b)는 트레드밀 조교 후 측정된 최대심박동수 변화가 없다고 보고하였다.

본 연구에서의 최대심박동수는 조교 전에는 225 ± 7.3 beat/min, 조교 4주, 8주 및 12주 후에는 각각 222 ± 6.7 beat/min, 219 ± 6.0 beat/min, 217 ± 5.2 beat/min로 감소하였으나 유의차가 인정되지는 않아 Evans와 Rose(1988b)의 결과와 유사하였으며, Krzywanek 등 (1970)은 19두의 Thoroughbred 말에서 최대심박동수를 측정된 결과 평균 223

beat/min이었고, 204~241 beat/min 범위였다고 하여 본 연구의 조교 중 최대심박동수 217~225 beat/min과 유사한 측정치를 보였다.

최고부하이하 트레드밀운동에서 심박동수를 이용한 운동능력의 평가에 관한 연구는 심박동수가 200 beat/min에 이르는 주행속도(V_{200})가 활용되었다(Evans, 1994). 그러나 개체별로 최대심박동수의 차이가 심하기 때문에 서로 다른 개체간의 운동능력을 비교하는데 있어서는 문제점이 제기될 수도 있다. 따라서 트레드밀운동 속도를 증가시키면서 측정한 심박동수가 더 이상 상승되지 않고 수평을 유지하는 때의 값인 최대심박동수 트레드밀속도($V-HR_{max}$)를 운동능력을 평가하는데 이용한다. 최대심박동수 트레드밀속도는 최대산소소비량(VO_{2max})과 밀접한 관계가 있기 때문에 최대산소소비량의 측정이 없어도 트레드밀을 이용한 운동능력에 적절한 지표가 된다(Evans와 Rose, 1987).

본 연구에서도 최대심박동수 트레드밀속도는 조교 전 8.9 ± 0.36 m/sec에서 조교 8주와 12주 후에 각각 9.9 ± 0.32 m/sec, 10.1 ± 0.28 m/sec로 유의성 있게 증가하여 운동능력 향상을 확인할 수 있어 심장초음파에 의한 확장기 좌심실내경, 1회 박출량, 심박출량 및 좌심실용량의 변화 양상과 유사한 유형을 나타냈다.

말은 비장에 적혈구를 저장할 수 있는 능력이 탁월하여 총 적혈구수의 50%를 저장할 수 있다(Persson과 Lydin, 1973). 경주마가 운동을 하는 동안 비장으로부터 적혈구의 유리가 증가하면서 산소운반 능력이 향상되는 현상은 말의 유산소 운동에 있어서 매우 중요한 요소이다(Evans와 Rose, 1988a).

Stewart와 Steel(1975)은 적혈구 수치가 정상범위보다 낮은 경주마의 경우 경주에서 승리하지 못했다고 하였다. 이것은 적혈구 수치가 낮을 때에 그 개체의 운동능력도 정상 이하일 것이라는 가정으로 돌아갈 수 있다. 경주마 조교는 적혈구수 증가를 유발하는데 Persson과 Bergsten(1975)은 2세 속보마(trotters)에서 첫 경주 이전에 조교를 통하여 헤모글로빈 농도가 30% 증가하였다고 한다. 이러한 증가는 나이의 영향을 받은 것으로

로 보이지만 조교를 통해 산소를 운반하는 능력이 향상되었음이 분명하다. Thoroughbred 말에서 조교는 안정기의 PCV, 헤모글로빈 및 적혈구수의 증가를 나타내는 것으로 보고되고 있다(Allen과 Powell, 1983).

본 연구에서도 조교 전에 비해 조교 8주 후에 적혈구수, 헤모글로빈농도 및 PCV가 유의성 있게 증가하였으나 12주 후에는 조교 전 수준으로 감소하였는데 이러한 변화는 조교효과에 의해 8주 후까지 비장에서 적혈구 배출이 증가하였으나 12주 후에는 운동의 적응에 의한 비장의 적혈구 저장능력이 향상되었으므로 운동 직후 적혈구의 비장 복귀 속도도 증가하여 혈중 적혈구수가 조교 전 수준으로 신속하게 회복된 것으로 사료된다.

백혈구 수는 운동의 강도와 기간에 따라 10~30% 정도 증가하지만 증가되는 정도는 적혈구 수치에서 나타나는 것처럼 그다지 극적이지는 않고 (Rossdale 등, 1982; Rose, 1982), 중저 강도의 장거리 운동을 실시하면 호중구증가증과 임파구 증가에 기인한 백혈구증가증이 나타난다(Carlson 등, 1976). 그러나 Allen과 Powell(1983)은 고강도의 운동에서는 비장에 저류되어 있던 백혈구의 혈중 유출 때문에 지구력 운동 시와는 다른 백혈구 반응을 보이며 Thoroughbred 말에서 총 백혈구수와 백혈구 감별 수치는 조교 전후에 비슷하다고 하였다.

본 연구에서도 조교 전보다 조교 4주 후에 19% 증가하였으나 이는 고강도 운동에 따른 변화로 추정되며 12주 후에는 8주 후 보다 유의성 있게 감소하여 조교 전 수준으로 회복하였다.

젖산은 골격근에서 무산소 해당 작용에 의해 나타난다(Gollnick과 Saltin, 1982). Thoroughbred 말과 Standardbred 경주마에서 최고부하이하 운동에 대한 혈중 및 혈장 젖산농도의 반응과 경주능력 사이에 유의성 있는 관계가 있다고 보고되었고(Davie 등, 2002; Davie와 Evans, 2000), Wilson등(1983)은 최고부하이하 운동검사에서 젖산농도를 개체별 운동 능력에 대한 중요한 지표로 제시하였다.

젖산 생성 증가는 에너지 생성을 위한 무산소 운동 과정이 증가한 것을 반영하는 것이다. 결과적으로 운동에 대한 반응으로 혈중 젖산농도 증가

는 말에서 대사능력을 나타내는 것이다. 혈중 젖산농도는 최고부하운동 시험반응으로 최고의 혈장 젖산농도에 이르는 것은 가장 좋은 무산소 운동 능력을 가졌다는 것을 평가하는 수단이 되고 있다(Costil, 1972). 높은 유산소 운동능력 즉, 높은 심박출 능력과 최대산소소비량(VO_{2max})을 갖고 있는 경주마는 보통 최고부하운동 효과반응으로 젖산농도가 감소한다고 하였다(Hodgson과 Rose, 1994). 또한 Goer 등(1999)은 조교가 안 된 6두의 Thoroughbred 성마를 대상으로 10일 동안 최고부하 트레드밀운동 후 혈장 젖산농도가 운동 전 보다 22% 감소하였다고 하였다.

본 연구에서도 12주간 트레드밀 조교에 따른 혈중 젖산농도는 조교 전에는 9.1 ± 1.33 mmol/l이었으나 조교 4주 후에는 운동반응으로 9.0 ± 1.30 mmol/l로 약간 감소하였고 지속적인 조교로 8주와 12주 후에는 각각 6.0 ± 1.08 mmol/l, 5.1 ± 1.24 mmol/l 유의성 있게 감소하여($P < 0.05$) Goer 등(1999)의 연구결과와 유사하였으며, 조교에 따른 혈중 젖산농도 감소로 유산소 운동능력이 향상된 것을 확인할 수 있다. 이러한 젖산농도 변화 시기는 심장초음파 검사에서 8주 및 12주 후에 확장기 좌심실내경, 좌심실용량과 1회 박출량, 심박출량 증가 시기와 일치되는 결과를 나타냈다.

총 단백질량은 감염상태와 탈수상태를 나타내는 지표이지만 정상범위가 $5.5 \sim 7.5$ g/100ml로 넓기 때문에 단백질량의 증가로 간단히 진단하기는 어렵다. 저단백혈증은 경주마에서 그리 흔하지 않으며, 나타나더라도 단백질 생성의 감소보다는 단백질의 손실을 가져오는 요인인 위장관이나 신장 질병 등을 살펴야 한다(Rose와 Hodgson, 1994c).

본 연구에서도 조교 전 4.8 ± 0.36 g/100ml부터 조교 12주 후 7.0 ± 0.34 g/100ml까지 유의성 있게 증가는 하였으나 변화가 정상범위에 포함되어 조교에 의한 변화로는 보기 어렵다.

근육유래 일반적인 효소는 AST와 CPK로서 운동반응으로 활성도가 증가하는데(Andrews 등, 1995), 증가의 정도는 운동의 형태에 따라 좌우된다고 한다(Harris 등, 1990). 이러한 반응은 심한 근육 손상이나 일시적인 투과성의 증가를 야기 시키는 근육섬유막의 변화에 기인한다(Anderson, 1975; Boyd, 1985).

Cerny와 Haralambie(1983)은 AST와 CPK의 생리적인 활성화 증가가 근육 손상 없이도 나타난다고 하였는데, 본 연구에서도 AST와 CPK의 활성화도가 조교 전 각각 183.2 ± 12.50 U/l, 122.0 ± 24.22 U/l에서 조교 4주 후부터 유의성 있게 증가하였으나 변화의 폭이 정상 범위 내에 있고 근육관련 효소 증가는 근육세포의 자체적인 손상보다도 미토콘드리아 막의 투과성 증가에 의한 것으로 알려져 있다고 함으로써(Nimmo와 Snow, 1982) 이 연구의 AST 및 CPK 활성화도 변화는 조교에 따른 특이적인 반응은 아니라고 사료된다.

이상의 결과를 요약해 볼 때 12주 동안 최고부하 트레드밀 조교에서 심장초음파 검사에 의해 확장기 좌심실내경 크기 증가와 1회 박출량, 심박출량 및 좌심실용량 등 심장기능 능력지수 향상이 조교 8주 및 12주 후에 나타나는 것이 운동능력 향상정도 평가항목인 최대심박동수 트레드밀속도, 혈중 젖산농도, 적혈구수, 헤모글로빈농도 및 PCV 등이 각각 조교 8주 및 12주 후 유의성 있게 변화된 것과 일치하였음을 확인할 수 있었고, 따라서 심장초음파는 간편하게 단독적이고, 비 침습적으로 심장크기와 기능을 측정함으로써 운동능력을 평가하고 조교 효과를 판단하는데 적절하게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

Thoroughbred 말의 조교효과를 평가하기 위하여 경주에 활용 경험이 없는 Thoroughbred 암말 6두를 대상으로 12주간 트레드밀을 이용 계획적인 표준최고부하 트레드밀운동 조교를 실시하면서 매주 운동능력 향상도 검사와 함께 운동 후 심장초음파 검사를 실시하였다. 트레드밀 조교를 시킨 후, 운동 중 최대심박동수, 최대심박동수 트레드밀속도($V-HR_{max}$) 및 젖산농도 등의 혈액검사를 통해 운동효과를 검증하였고, 아울러 각각의 동일 검사시점에서 M 모드를 이용한 심장초음파 검사로 좌심실내경(LVID), 좌심실 중격두께(IVS) 및 좌심실 후벽두께(LVPW) 등을 각각 확장기(d)와 수축기(s)에 측정 하였고 평균 심실벽두께(MWT), 확장기 대동맥내경(Aod) 등 좌심실 크기와 1회 박출량(SV), 심박출량(CO), 좌심실 구축율(EF), 좌심실내경 단축율(FS) 및 좌심실용량(LV mass) 등 좌심실 기능변화를 측정하였다. 각각의 측정값들을 분석하여 조교기간별로 말의 운동능력과 심장능력의 변화를 비교하였던바 다음과 같은 결론을 얻었다.

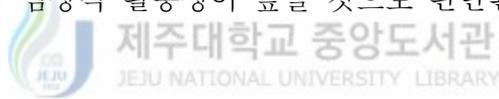
조교 경과에 따른 기간별 심장초음파 검사를 통한 심장크기 측정 결과 확장기 좌심실내경이 조교 전에 비해 조교 8주와 12주후에 유의성 있게 증가하였고($P<0.05$), 조교 4주 후 기준으로는 확장기 좌심실내경이 조교 12주 후에 유의성 있게 증가하였다($P<0.05$). 한편 좌심실 기능평가에서는 조교 8주 후에 1회 박출량과 심박출량이 유의성 있게 증가하였고($P<0.05$), 12주 후에 좌심실용량이 유의성 있게 증가하였다($P<0.05$). 12주간의 트레드밀운동 조교효과로 확장기 좌심실내경, 좌심실용량이 증대되어 심장비대가 나타났으며, 1회 박출량과 심박출량 증가되어 심실의 수축력 증대로 심실의 박출능력 향상을 나타냈다.

한편 운동능력 향상도 평가를 위해 검사한 최대심박동수 트레드밀속도는 조교 전 에 비해 매주 마다 증가하여 조교 8주와 12주 후에 유의성 있게 증

가하였고($P<0.05$), 혈중 젖산농도 역시 조교 8주와 12주 후에 유의성 있는 감소를 보여 조교 8주째 후부터 조교효과가 뚜렷하게 나타났다($P<0.05$).

기타 보조적으로 검사한 혈구학적 검사치 에서는 적혈구수, 백혈구수, 헤모글로빈 농도, 적혈구용적(PCV)이 조교 8주 후에 유의성 있게 증가하였고($P<0.05$), 조교 12주 후에는 감소하여 조교 전 수준으로 복귀하는 경향을 보였다. 혈액 생화학치 검사에서는 총 단백질량이 조교 4주, 8주 및 12주 후에 각 구간별 유의성 있게 증가하였으며($P<0.05$) AST와 CPK 활성도는 조교 4주 후부터 유의성 있게 증가하였다($P<0.05$).

이상의 결과를 종합해 볼 때 Thoroughbred 말에게 계획적이고 규칙적인 조교를 실시하면서 정기적으로 심장초음파 검사를 통해 확인한 심장의 발달 정도는 해당 말들의 운동능력 향상정도와 병행하여 각각 조교 8주 및 12주 후에 유의성 있게 변화된 것을 확인할 수 있었다. 따라서 말의 조교효과 또는 운동능력을 판단하는데 심장초음파 검사는 단독적으로도 매우 가치가 있어 임상적 활용성이 높을 것으로 판단된다.



VI. 참고문헌

Allen, B. V. and Powell, D. G. 1983. Effects of training and time of blood sampling on the variation of some common hematological parameters in normal thoroughbred racehorses. p.328. In "Equine Exercise Physiology". (eds. Snow, D. H., Persson, S. G. B. and Rose, R. J.) Granta Editions, Cambridge.

Anderson, M. G., 1975. The influence of exercise on serum enzyme levels in the horse. *Equine Vet. J.* 7 : 160~165.

Andrews, P. M., Geiser, D. R., White, S. L., Williamson, L. H., Maykuth, P. L., Green, E. M. 1995. Haematological and biochemical changes in horses competing in a 3 day event. *Equine Vet. J. Suppl.* 40 : 57~63.

Bayly, W. M., Gabel, A. A. and Barr, S. A. 1983. Cardiovascular effects of submaximal aerobic training on a treadmill in Standardbred horses, using a standardized exercise test. *Am. J. Vet. Res.*, 44(4) 544~553.

Betros, C. L., McKeever K. H., Kearns, C. F. and Malinowski, K. 2002. Effects of ageing and training on maximal heart rate and VO_{2max} . *Equine Vet. J. Suppl.*, 34 : 1001~1005.

Blissitt, K. J. and Bonagura, J. D. 1995. Color flow doppler echocardiography in normal horses. *Equine vet. J. Suppl.*, 19 : 47~55.

Blomquist, C. G. and Saltin, B. 1983. Cardiovascular adaptations to physical training. *Annu. Rev. Physiol.*, 45 : 169~189.

Boyd, J. W. 1985. The mechanisms relating to increases in plasma enzymes and isoenzymes in diseases of animals. *Vet. Clin. Pathol.*, 12 : 9~24.

Buhl, R., Ersboll, A. K., Eriksen, L. and Koch, J. 2005. Changes over time in echocardiographic measurements in young Standardbred racehorses undergoing training and racing and association with racing performance. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 226(11) : 1881~1887.

Butler, P. J., Woakes, A. J., Anderson, L. S., Smale, K., Roberts, C. A. and Snow, D. H. 1991. The effect of cessation of training on cardiorespiratory variable during exercise. p.71. In "Equine Exercise Physiology 3" (eds. Persson, S. G. B., Lindholm, A. and Jeffcott, L. B.) ICEEP Publications, California.

Carlson, G. P., Ocen, P. O. and Harrold, D. 1976. Clinicopathologic alterations in normal and exhausted endurance horses. *Theriogenology*, 6 : 93~104.

Carlsten, J. C. 1987. Two-dimension, real time echocardiography in the horse. *Vet. Radiol.*, 28 : 76.~87.

Cerny, F. J. and Haralambie, A. G. 1983. Exercise-induced loss of muscle enzymes. pp.441~447. In "Equine exercise physiology (eds, Knuttgen, H. G. Vogel, J. A., Poortmans, J.) Champaign, IL, Human Kinetics.

Colan, S. D. 1992. Mechanics of left ventricular systolic and diastolic function in physiologic hypertrophy of the athlete heart. *Cardiol. Clin.*, 10 : 227~240.

Costill, D. L. 1972. Physiology of marathon running. *J. Am. Med. Assoc.*, 221 : 1024~1029.

Cunningham P. 1991. The genetics of thoroughbred horses. *Sci Am.*, 264 : 56.

Davie, A. L. and Evans, D. J. 2000. Blood lactate responses to submaximal field exercise tests in thoroughbred horses. *Vet. J.*, 159(3) : 252~258.

Davie, A. J., Priddle, T. L. and Evans, D. L. 2002. Metabolic responses to submaximal field exercise tests and relationships with racing performance in pacing Standardbred. *Equine Vet. J., Suppl.*, 34:112~115.

Derman, K. D. and Noakes, T. D. 1994. Comparative aspects of exercise physiology. pp.13~25. In "The athletic horses: Principles and Practice of Equine Sports Medicine" (eds. Hodgson, D. R. and Rose, R. J.) Saunders. Philadelphia.

Detweiler, D. K. 1984. Mechanical activity of the heart. p.131. In "Dukes' physiology of domestic animals" (ed. Svenson, M.) Cornell University Press. Ithaca.

Devereux, R. B. and Reichek, N. 1977. Echocardiographic estimation of ventricular mass in man: anatomic validation of the method. *Circulation*, 55 : 613~618.

Erickson, H. H., Lundin, C. S., Erickson, B. K. and Coffman, J. R. 1991. Indices of performance in the racing quarter horse. pp41~46. In "Equine Exercise Physiology 3" (eds, Persson, S. G. B., Lindholm, A., Jeffcott, L.B.) ICEEP Publications, Davis. California.

Evans, D. L. 1994. The cardiovascular system. pp.129~144. In "The Athletic Horse : Principles and Practice of Equine Sports Medicine". (eds. Hodgson, D. R. and Rose, R. J.) Saunders, Philadelphia.

Evans, D. L. and Rose, R. J. 1986. Method on investigation of the accuracy of four digitally-displayed heart rate meters suitable for use in the exercising horse. *Equine Vet. J.*, 18 : 129~132

Evans, D. L. and Rose, R. J. 1987. Maximal oxygen consumption in racehorses: Changes with training state and prediction from submaximal indices of cardiorespiratory function. p.52. In "Equine Exercise Physiology 2" (eds, Gillespie, J.R., Robinson, N.E.) ICEEP Publications, Davis, California.

Evans, D. L. and Rose, R. J. 1988a. Cardiovascular and respiratory responses in Thoroughbred horses during treadmill exercise. *J. Exp. Biol.*, 134 : 397~408

Evans, D. L. and Rose, R. J. 1988b. Cardiovascular and respiratory responses to submaximal exercise training in the Thoroughbred horse. *Pflugers Arch.*, 411 : 316~321.

Evans, D. L. and Rose, R. J. 1988c. Determination and repeatability of maximal oxygen consumption and other cardiorespiratory measurements in the exercising horse. *Equine Vet. J.*, 20(2) : 94~98.

Fagard, R. H. 1996. Athlete's heart: a meta-analysis of the echocardiographic experience. *Int. J. Sports Med.*, 17, Suppl. 3 : 140 ~144.

Foreman, J. H., Bayly, W. M., Grant, B. D., Gollnick, P. D. 1990. Standardized exercise test and daily heart rate responses of thoroughbreds undergoing conventional race and detraining. *Am. J. Vet. Res.*, 51 : 914~920.

Goer, R. J., McCutcheon, L. J. and Shen, H. 1999. Muscular and metabolic response to moderate intensity short-term training. *Equine Vet. J. Supply.*, 30 : 311~317.

Gollnick, P. D. and Saltin, B. 1982. Significance of skeleton muscle oxidative enzyme enhancement with endurance training. *Clin. Physiol.* 2 : 1~12.

Grossman, W., Jones, D. and McLaurin, L. P. 1975. Wall stress and patterns of hypertrophy in the human left ventricle. *J. Clin. Invest.*, 56 : 56~64

Gunn, H. M. 1989. Heart weight and running ability. *J. Anatomy*, 167 : 225~233.

Harris, P. A. and Snow, D. H. 1988. The effects of high intensity exercise on the plasma concentration of lactate, potassium and other electrolytes. *Equine vet. J.*, 20(2) : 109~113.

Harris, P. A., Snow, D. H., Greet, T. R., Rosedale, P. D. 1990. Some factors influencing plasma AST/CK activities in thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J. Suppl.* 9 : 66~71.

Harris, R. C., Harris, D. B., Dunnett, M., Harris, P. A., Fallowfield, J. and Naylor, J. R. 1999. Plasma ammonia and lactate responses using incremental and constant speed exercise tests. *Equine Vet. J., Suppl.*, 30 : 546~551.

Hodgson, D. R. and Rose, R. J. 1994. Evaluation of Performance Potential. p.238. In "The athletic horses : Principles and Practice of Equine Sports Medicine" (eds, Hodgson, D. R. and Rose, R. J.) Saunders. Philadelphia,

Holmes, J. R., Alps, B. J. and Aarke, P. G. G. 1966. A method of radiotelemetry in equine electrocardiography. *Vet. Rec.*, 79 : 90~94.

Huonker, M., Konig, D. and Keul, J. 1996. Assessment of left ventricular dimensions and functions in athletes and sedentary subjects at rest and during exercise using echocardiography: Doppler sonography and radionuclide ventriculography. *Int. J. Sports Med.* 17. *Suppl.* 3 : 173~179.

Illegra, J. C. and Illegra, M. 1986. Electrocardiography and heart score of horses competing if an endurance ride. *Aust. Vet. J.*, 64 : 88~89.

Jeffcott, L. B., Buckingham, S. H. W., McCartney, R. N. 1987. Noninvasive measurements of bone quality in horses and changes associated with exercise. p.615. In" *Equine Exercise Physiology. 2"* (eds. Gillespie, J. R., Robinson, N. E. and Davis, C. A.) ICEEP Publications, California.

Kim, J. G. 1999. Clinical evaluation of fitness in Thoroughbred racehorses using treadmill exercise test, PhD. Thesis, Seoul National University.

Knight, P. K., Sinha, A. K. and Rose, R. J. 1991. Effects of training intensity on maximum oxygen uptake. p.77. In "Equine Exercise Physiology 3" ,(eds, Persson, S. G. B., Lindholm, A., Jeffcott, L. B.), ICEEP Publications, Davis, California.

Kriz, N. G., Hodgson, D. R. and Rose, R. J. 2000. Changes in cardiac dimensions and indices of cardiac function during deconditioning in horses. *Am. J. Vet. Res.*, 61(12) : 1553~1560.

Krzywanek, H., Wittke, G., Bayer, A. and Borman, P. 1970. The heart rates of Thoroughbred horses during a race. *Equine Vet. J.*, 2 : 115~117.

Kubo, K., Senta, T. and Surgimoto, O. 1974. Relationship between training and heart in the Thoroughbred racehorse. *Exp. Rep. Equine Health lab.*, 11 : 87~93

Kuramoto, K., Shiraishi, A., Nakanishi, Y., Kai, M., Ueno, Y. and Ueda, Y. 1989. Application of echocardiography for assessing left ventricular function of Thoroughbred horses at resting stage. *Bull. Equine Res. Inst.*, 26 : 23~30.

Leadon, D. P., Cunningham, E. P., Mahon, G. A., Todd, A. J. 1982. Heart score and performance ability in the United Kingdom. *Equine Vet. J.*, 14 : 89~90.

Lightowler, C., Piccione, G., Giudice E., del Olmo, G. R. and Cattaneo, M. L. 2004. Echocardiography and electrocardiography as means to evaluate potential performance in horses. *J. Vet. Sci.*, 5(3) : 259~262.

Long, K. J., Bonagura, J. D. and Darke, P. G. 1992. Standardized imaging technique for guided M-mode and doppler echocardiography in the horse. *Equine Vet. J.*, 24 : 226~235.

Marr, C. M. 1994. Equine echocardiography—sound advice at the heart of the matter. *Br. Vet. J.*, 150: 527~545.



McKeever, K. H., Hinchcliff, K. W., Reed, S. M. and Robertson, J. T. 1993. Role of decreased plasma volume in hematocrit alterations during incremental treadmill exercise in horse. *Am. J. Physiol.*, 265 : 404~408.

Milne, D. W., Gabel, A. A., Muir, W. W., Skarda, R. T. 1977. Effects of training on heart rate, cardiac output, and lactic acid in standardbred horses, using a standardized exercise test. *J. Equine Med. Surg.*, 1 : 131~135.

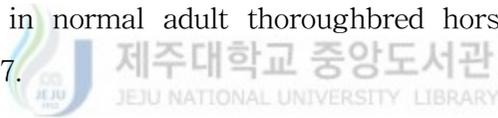
Nielsen, K. and Vibe-Peterson, G. 1980. Relationship between QRS duration (heart score) and racing performance in trotters. *Equine Vet. J.*, 12. 81~84.

Nimmo, M. A. and Snow, D, W. 1982. Time course of ultrastructural changes in skeletal muscle after two types of exercise. *J. Appl. Physiol.*, 52(4) : 910~913.

O'Callaghan, M. W. 1985. Comparison of echocardiographic and autopsy measurements of cardiac dimensions in the horse. *Equine Vet. J.*, 17(5) : 361~368.

Patteson, M. W. 1993. Echocardiographic studies in horse, PhD Thesis, University of Bristol.

Patteson, M. W., Gibbs, C., Wotton, P.R. and Cripps, P. J. 1995. Echocardiographic measurements of cardiac dimensions and indices of cardiac function in normal adult thoroughbred horses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 19. 18~27.



Paull, K. S., Wingfield, W. E., Bertone, J. J., Boon, J. A. 1987. Echocardiographic changes with endurance training. p.34. In "Equine Exercise Physiology. 2" (eds. Gillespie, J. R. and Robinson, N. E.) ICCEEP publications. Davis. California.

Persson, S. G. B. 1967. On blood volume working capacity. *Acta. Vet. Scand. Suppl.* 19 : 9~189.

Persson, S. G. B. 1983. Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. p.441. In "Equine Exercise Physiology" (eds. Snow, D. H., Persson, S. G. B. and Rose, R. J.). Granta Edition, Cambridge.

Persson, S. G. B. and Lydin, G. 1973. Circulatory effects of splenectomy in the horse: III. effect on pulse-work relationship. *Zentralbl Vet. Med.*, A20 : 521~530.

Physick-Sheard, P. W. 1985. Cardiovascular response to exercise and training in the horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, 1(2) : 383~417.

Physick-Sheard, P. W., Harmann, J. C., Snow, D. H. and Woakes, A. J. 1987. Evaluation of factors influencing the performance of four equine heart rate meters. p.103. In "Equine Exercise Physiology 2" (eds. Gillespie, J. R. and Robinson, N. E.) ICEEP Publications, Davis California.

Piper, F. S. and Hamlin, R. L. 1977. Echocardiography in the horse. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 170 : 815~819.

 제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
Poole, D. C. and Erickson, H. H. 2005. Heart and vessels: function during exercise and response to training. pp.697~727. In "Equine Sports Medicine and Surgery" (ed. Hinchcliff, K. W., Kaneps, A. J., Goer, R. J and Bayly, W.) Saunders, Philadelphia..

Reef, V. B. 1991. Advances in the echocardiography. *Vet. Clin. North Am. Equine Prac.*, 7 : 435~450

Reef, V. B. 1995. Heart murmurs in horses: determining their significance with echocardiography. *Equine Vet. J. Suppl.*, 19 : 71~80.

Rodiek, A. V., Lawrence, L. M. and Russell, M. A., 1987. Cardiovascular effects of intermittent or continuous treadmill conditioning in horse. *J.*

Equine Vet. Sci., 7 : 14~19.

Rose, R. J. 1982. Hematological changes associated with endurance exercise. *Vet. Rec.*, 110 : 175~177.

Rose, R. J., Hendrickson, D. K. and Knight, P. K. 1990. Clinical exercise testing in the normal thoroughbred racehorse. *Aust. Vet. J.*, 67(10) : 345~348.

Rose, R. J. and Hodgson, D. R. 1994a. An overview of performance and sports medicine. pp.3~11. In "The athletic horse : principles and practice of equine Sports medicine" (ed, Hodgson, D. R. and Rose, R. J.) Saunders, Philadelphia.

Rose, R. J. and Hodgson, D. R. 1994b. Clinical exercise testing. pp.245~258. In "The athletic horse : principles and practice of equine sports medicine" (ed, Hodgson, D. R. and Rose, R. J.) Saunders. Philadelphia.

Rose, R. J. and Hodgson, D. R. 1994c. Hematology and biochemistry. pp.63~78. In "The athletic horse : principles and practice of equine sports medicine" (eds, Hodgson, D. R. and Rose, R. J.) Saunders. Philadelphia.

Rossdale, P. D., Burguez, P. N, and Cash, R. S. 1982. Changes in blood neutrophils: lymphocyte ration related to adenocortical function in the horse. *Equine Vet. J.*, 14 : 293~298.

Sahn, D. J., DeMaria, A., Kisslo, J. and Weyman, A. 1978. Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography : results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation*. 58 : 1072~1083.

Sampson, S. N., Tucker, R. L. and Bayly, W. M. 1999. Relationship between VO₂max, heart score and echocardiographic measurements obtained at rest and immediately following maximal exercise in thoroughbred horses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 30 : 190~194.

Scheuer, J. and Tipton, C. M. 1977. Cardiac adaptations to physical training, *Ann. Rev. Physiol.*, 39 : 221~251

Seeherman, H. J. and Morris, E. A. 1990. Application of a standardised treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in 10 thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 9 : 26~34.

Sexton, W. L., Erickson, H. H. and Coffman, J. R. E. 1987. Cardiopulmonary and metabolic response to exercise in the Quarter horse. pp.77~91. In. "Equine Exercise Physiology. 2" (ed. Gilles, J. and Robinson, N. E.) ICEEP Publications, Davis. California.

Steel, J. D. 1963. Studies on the electrocardiogram of the racehorse. pp.42~46. In "The electrocardiogram in relation to the performance" Australian Medical Publishing, Sydney.

Steel, J. D. and Stewart, G. A. 1974. Electrocardiography of the horse and potential performance ability. *J. S. Afr. Assoc.*, 45 : 263~268.

Stewart, G. A. and Steel, J. D. 1975. Hematology of the fit racehorses. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*, 46 : 287~288.

Thomas, D. P. and Fregin, G. F. 1981. Cardiorespiratory and metabolic responses to treadmill exercise in the horse. *J. Appl. Physiol.*, 50(4) : 864~868.

Thomas, D. P., Fregin, G. F. and Gerber, N. H. and Ailes, N. B. 1983. Effects of training on cardiorespiratory function in the horse. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 245 : R160~R165.

Thornton, J. R. 1985. Exercise testing. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, 1 : 573~595.

Thornton, J. R., Essen-Gustavssen, B., Lindholm, A., McMiken, D. P. and Persson, S. G. B. 1983. Effects of training and detraining on oxygen uptake, cardiac output, blood gas tensions, pH and lactate concentrations during and after exercise in the horse. pp.470~486. In "Equine Exercise Physiology" (eds. Snow, D. H., Persson, S. G. B. and Rose, R. J.) Granta Editions, Cambridge.

Tipton, C. M., 1984. Exercise, training, and hypertension, *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12 : 245~306

Vuille, C. and Weyman, A. E. 1994. Left ventricle 1: general considerations assessment of chamber size and function. pp.575~624. In "Principle and Practice of Echocardiography 2" (ed, Weyman, A. E.) Lea and Febiger, Philadelphia.

Webb, S. P., Potter, G. D., Evans, J. W. 1988. Physiological responses of cutting horse to exercise testing and to training. *J. Equine Vet. Sci.* 7 : 14~19.

Weber, J. M., Parkhouse, W. S., Dobson, G. P., Harman, J. C., Snow, D. H., Hochachka, P. W. 1987. Lactate kinetics in exercising Thoroughbred horses: regulation of turnover rate in plasma. *Am. J. Physiol.*, 253(6) : R896~903.

Willson, R. G., Isler, R. B. and Thornton, T. R. 1983. Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in Standardbred horses. pp.470~496. In “Equine Exercise Physiology” (eds. Snow, D. H., Persson, S. G. B. and Rose, R. J.) Granta Editions, Cambridge.

Young, L. E. 1999. Cardiac responses to training in 2-year-old thoroughbreds: an echocardiographic study. *Equine Vet. J. Suppl.*, 30: 195~198.

Young, L. E. and Scott, G. R. 1998. Measurement of cardiac function by transthoracic echocardiography: day to day variability and repeatability in normal Thoroughbred horses. *Equine Vet. J.*, 30(2) : 117~122.

Young, L. E., Marlin, D. J., Deaton, C., Brown-Feltner, H., Roberts C. A., and Wood, J. L. N. 2002. Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake. *Equine Vet. J. Suppl.*, 34 : 467~471.

Young, L. E. 2003. Equine athletes, the equine athlete's heart and racing success. *Exp. Physiol.* 88(5) : 659~663.

Young, L. E., Rogers, K. and Wood, J. L. N. 2005. Left ventricular size and systolic function in Thoroughbred racehorses and their relationships to race performance. *J. Appl. Physiol*, 99 : 1278~1285.

Young, L. E., and Wood, J. L. N. 2001. Effect of age and training on Thoroughbred valvular competence. *Proceedings of the 19th Annual Vet. Med. Forum*, 19 : 347~348.



감사의 글

배움이라는 욕망은 삶의 원동력인 듯 하다, 오늘 이 논문은 완성하면서 또 다른 배움을 도전하고 싶다. 우선 박사학위 과정을 이끌어 주시고 배려 해주신 제주대학교 이경갑 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

바쁘신 가운데 정성껏 논문심사를 해주셔서 논문 완성도를 높여주신 제주대학교 정종택 교수님과 윤영민 교수님, 서울대학교 윤화영 교수님 그리고 한국마사회 김병선 박사님께 진심으로 감사드립니다. 국내에서 처음으로 시도된 말 심장초음파 실험 준비와 자료검토를 위해 애써 주신 서울대학교 윤정희 교수님과 제주대학교 박현정 교수님께도 감사드립니다.

한국마사회 경마연구원에서 함께 근무하면서 어려운 조건에서도 모든 실험 과정을 함께하며 도와주신 양삼용님, 광문규님, 유동범님 그리고 이창숙님께 각별하게 고마움을 표시하고 싶습니다. 진료실 공간은 좁은 데 심장초음파 실험을 한다고 보정대를 차지하고 있었는데도 불평 없이 협조 해주신 서울경마공원 부속 동물병원 수의사님들과 논문작성에 필요한 자료준비를 도와주신 제주경주마목장 부속병원 김준규, 양재혁, 이영우, 조영재 수의사님께도 진심으로 감사드립니다.

아무쪼록 본 논문이 우수 국내산 생산과 경마발전을 위한 말 연구가 활성화 되는 계기가 되었으며 하고, 국내 말 운동생리학 연구 분야에 일조하기를 기대합니다

끝으로 늘 배움의 길로 가도록 동기부여를 해주고 격려해 준 사랑하는 나의 아내 주은과 나의 분신 윤, 혁과 함께 이 기쁨을 나누고 싶고, 오늘 날이 있기까지 큰 힘이 되어 주신 어머님께 이 논문을 바칩니다.