

더러브렛 경주마에서 혈청 젖산농도 측정에 의한 표준운동능력검사의 적용

문규환 · 김준규 · 김병선 · 엄영호 · 양일석*

한국마사회
서울대학교 수의과대학 생리학교실*
(1999년 4월 21일 접수)

Application of a standardized exercise test by measuring serum lactate concentration in Thoroughbred racehorses

Kyu-whan Mun, Joon-gyu Kim, Byung-sun Kim, Young-ho Um, Il-suk Yang*

*Korea Racing Association
Department of Physiology, College of Veterinary Medicine, Seoul National University**
(Received Apr 21, 1999)

Abstract : To establish the protocol of a standardized exercise test for evaluating exercise intolerance and degree of fitness in Thoroughbred racehorses, we examined serum lactate concentrations related to exercise intensities using the high speed treadmill. Twelve clinically healthy Thoroughbred racehorses with or without previous training or racing history were assigned to two groups, fit and unfit group, respectively. The protocol used for the standardized exercise test was consisted of two stages : stage of warm-up and that of acceleration. During the warm-up, the horses exercised 5 min at 1.8m/s and 3 min 3.4m/s without inclination. At the acceleration stage, exercise test was performed at 10% slope and the speed was increased from the initial 5m/s to the maximal speed which each tested horse could keep up with. The speed was increased with incremental steps of 1 m/s every minute. During the last 15 sec of each step, blood samples were collected for serum lactate determination.

V_{max} (maximal treadmill speed which tested horses could keep up with) of the fit group (10.93 ± 0.33 m/s, mean \pm SE, $n = 6$) was higher than that of the unfit group (9.52 ± 0.23 m/s, mean \pm SE, $n = 6$). Serum lactate concentrations increased exponentially according to exercise intensities. V_{Lact} (speed producing a serum lactate concentration of 4mmol/l) of the fit group, 6.45 ± 0.26 m/s, was higher than that of the unfit group, 5.45 ± 0.23 m/s. La_{peak} (peak plasma lactate concentration during the exercise test) was lower in the fit group (20.34 ± 1.62 mmol/l at 1 min after maximal intensity exercise) than in the unfit group (24.78 ± 1.09 mmol/l at 2 min after maximal exercise step). $t_{50\%}$ (time required for the recovery of lactate concentration to be one-half of La_{peak} after maximal

exercise) of the unfit group and the fit group were 40.0 and 18.0 min, respectively.

Therefore, the protocol of the incremental standardized exercise test utilized in this study seems to be reliable for the assessment of fitness and exercise intolerance for the Thoroughbred racehorses.

Key words : exercise test, serum lactate concentration, Thoroughbred.

서 론

운동능력검사(exercise test)는 개체가 수행할 수 있는 신체적인 일의 양을 평가하는 방법으로 개체의 훈련상태를 평가하여 훈련 프로그램의 적합성(fitness)을 분석하고 운동에 대한 신체반응을 정량적으로 평가하기 위한 수단으로써 운동생리학적인 연구의 결과로 개발되어 왔다.

경주마에서는 일정 조교(훈련) 프로그램에 대한 적합성을 측정하고, 조교목적 달성정도에 맞추어 조교 프로그램을 진행시키기 위한 자료를 얻기 위해 운동능력검사를 실시하며 아울러 운동능력이 기대에 못 미치는 운동능력 부진마에 대한 원인조사와 함께 전체적인 임상검사의 한 분야로 활용되기도 한다. 궁극적으로 운동능력검사는 개체가 수행하는 훈련의 목적이 되는 일정한 운동형태를 수행하는 능력의 측정을 목표로 하므로 경주마에서는 일정거리를 달리는데 걸리는 시간이 된다. 이러한 평가방법은 stop watch만 있으면 주로에서 실시할 수 있어서 아주 간단한 방법이기도 하지만 검사환경(온도, 습도, 주로상태, 기승조건, 운동부하 등)이 표준화되어 있지 않으므로 진정한 의미에서 생리학적 비교를 위한 자료를 제공할 수 없다. 따라서 운동능력검사를 통해 동일한 개체에서 시간간격을 두고 얻은 자료를 비교하기 위해서나 비슷한 연령이나 조교 수준에 있는 다른 말과의 검사자료를 비교하기 위해서는 운동능력검사의 목적이 무엇이든지 간에 검사과정의 표준화가 중요한 문제가 되므로 표준화된 검사환경을 조성하여 운동능력검사를 실시하게 되는데 이를 표준운동능력검사(Standardized Exercise Test, SET)라 한다^{1,4}.

말의 운동에 대한 생리적인 반응을 평가하기 위한 운동능력검사는 사람의 스포츠 의학에 비하여 비교적 최

근에 적용되기 시작하였다. 사람에게 대한 운동능력검사는 bicycle ergometer나 트레드밀을 이용하여 산소 섭취량($\dot{V}O_2$), 최대 산소 섭취량($\dot{V}O_{2max}$), 다양한 호흡관련 지표, 심박수, 혈액화학치 및 혈중 젖산농도 등을 포함하는 여러가지 운동생리학적 자료를 측정하여 훈련 프로그램의 적합성을 평가하고 잠재 운동능력과 exercise intolerance에 대한 정보를 얻기 위해 실시되어 왔다⁵.

고속 트레드밀이 개발되기 전에는 말에서 이와같은 검사가 불가능했다. Persson⁶은 말의 운동능력검사에 있어서 최초로 트레드밀을 이용해 검사환경을 표준화하여 최대하 운동(submaximal exercise) 상태에서 Standardbred의 심박수, 산소 섭취량, 혈중 젖산농도 및 총적혈구 용적을 측정하였으며 Evans와 Rose^{7,8}는 고속 트레드밀을 이용하여 최대 운동강도(maximal intensity)에서 운동과 조교에 따른 더러브렛의 심맥관계 및 호흡기계의 반응을 보고하였다. Harkins와 Kamerling⁹은 고속 트레드밀을 이용하여 더러브렛에 대한 인터벌 트레이닝의 조교 적합성을 평가하였다. 또 더러브렛의 운동능력검사를 위해 트레드밀을 이용한 SET를 적용하여 조교 적합성 및 운동능력 평가에 높은 재현성을 나타내어 유용하게 사용될 수 있다고 보고되었다^{2,3,10}.

스포츠 의학분야에서 사람의 운동에 반응하여 변화하는 혈중 젖산축적과 관련된 여러 변수를 운동수행 능력(performance capacity)을 나타내는 중요한 지표로 사용하고 있다¹¹⁻¹⁴. 말에서도 경주능력과 혈중 젖산농도 간의 관계에 대한 다양한 연구들이 있었으며¹⁵⁻¹⁸ 특히 운동속도와 혈중 젖산농도의 초기 상승간의 관계에 대한 연구 결과 혈중 젖산농도의 초기상승은 유산소 운동능력을 반영하는 것으로 나타나 혈장 젖산농도가 4mmol/l이 되는 시점에서의 운동속도(V_{L4})는 다른 말들 간의 운동능력을 비교하기 위해서 또는 조교 기간중 동일한 말의 경시적 운동능력의 변화를 비교하기 위해 일반적으로 사

용되고 있다¹⁹⁻²¹.

본 실험은 운동속도에 따른 혈청 젖산농도의 변화에 대한 지표가 국내에서 사육되고 있는 더러브렛의 조교 적합성(fitness) 평가를 위한 적용가능성 여부를 알아보고 운동강도에 따른 혈청 젖산농도의 변화를 관찰할 수 있도록 점증적 표준운동능력검사(Incremental standardized exercise test)를 통한 더러브렛의 검사 프로토콜을 수립하고자 본 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

실험마 : 3-5세, 체중 450-500kg의 임상적으로 건강한 더러브렛 12두를 각 6 두씩 비조교군과 조교군으로 편성하였다. 비조교군은 최소 6개월 이상 마방에서만 관리하여 조교 및 출주경험이 없는 말을 대상으로 하였으며 조교군은 전통적인 방법에 의해 조교를 실시하고 있거나 경주에 출주할 준비가 되어 있는 경주마중 조교사의 의뢰에 의해 실시하였다.

검사환경 : 기온 18-24℃ 범위 안에서 실시하였으며 검사전 최소 3회 이상 트레드밀에서 진입 및 보행을 위한 훈련을 실시하였다. 보행훈련은 1.8m/s(평균) 이하에서만 실시하여 트레드밀 적응훈련 과정에서 얻을 수 있는 조교 효과를 배제하였다.

점증적 SET 프로토콜 : 표준화된 운동량을 부과하기 위하여 속도(speed)와 경사도(slope)를 조절할 수 있는 고속 트레드밀(SATO I, Sweden)을 이용하였다. 운동량의 변이를 최소화 하기 위하여 warm-up은 모든 피검마에 대해 0% 경사도에서 평균(1.8m/s)에서 5분, 속도(3.5m/s)에서 3분간 실시하였으며 warm-up에 의한 상대적인 운동강도에 있어서의 차이는 warm-up 전후에 혈청 젖산농도를 측정하여 판단하였다. warm-up 후 10% 경사도에서 5m/s의 운동속도에서부터 매1분 간격으로 1m/s 씩 가속하였으며 인위적인 독려에도 불구하고 피검마가 트레드밀의 속도를 따라가지 못할 때를 최고속도(V_{max})로 하였다. 피검마의 젖산 대사를 위해 V_{max} 도달후 15분간 속도(3.5m/s)로 감속하였으며, 검사를 위한 시료는 매운동단계의 마지막 15초 동안에 채취하였다.

시료채취 및 혈청 젖산농도 측정 : 혈청 젖산농도 측정을 위한 시료는 경정맥에 장착된 카테터(Infusor Combi, 14G, Krusse)에 연장 튜브를 연결하여 매운동단계의 마지막 15초 동안에 채취하였으며 운동후 젖산농도 변화

를 알아보기 위해 운동직후와 운동후 1, 2, 5, 10, 30, 60 및 120분에 채혈하였다. 채취한 정맥혈은 응고촉진제가 처리된 혈청분리용 SST Gel tube(Vacutainer, Becton Dickinson, USA)에 분주하여 즉시 원심분리한 후 30분 이내에 젖산측정기(YSI 1500 SPORT, Yellow Springs Inc, USA)를 이용하여 젖산농도를 측정하였다.

통계처리 : 실험성적은 *t*-test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과

Warm-up이 혈청 젖산농도에 미치는 영향 : 전체 실험마 12두의 warm-up 전과 후의 혈청 젖산농도는 warm-up 전 $0.94 \pm 0.06 \text{ mmol/l}$ (mean \pm SE, $n = 12$)과 warm-up 후 $1.01 \pm 0.16 \text{ mmol/l}$ 로 약간 증가하는 양상을 보였으나 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 비조교군에서는 warm-up 전 혈청 젖산농도 $0.93 \pm 0.08 \text{ mmol/l}$ (mean \pm SE, $n = 6$)과 warm-up 후 혈청 젖산농도 $1.12 \pm 0.30 \text{ mmol/l}$ 간에 유의한 차이가 없었으나($p > 0.05$) 약간 상승하는 경향을 보인 반면, 조교군에서는 warm-up 전 $0.95 \pm 0.10 \text{ mmol/l}$ (mean \pm SE, $n = 6$)과 warm-up 후 $0.89 \pm 0.14 \text{ mmol/l}$ 로 역시 유의한 차이를 보이지 않았으나($p > 0.05$) 약간 감소하는 경향을 보였다(Fig 1).

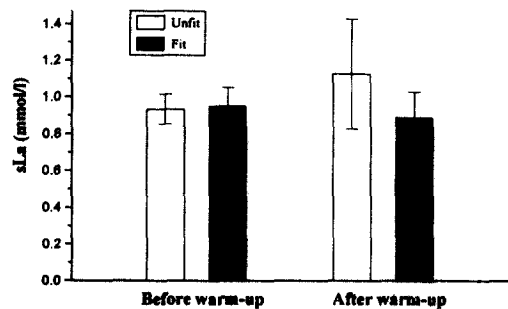


Fig 1. Serum lactate concentrations before and after warm-up prior to an incremental standardized exercise test. There are no differences in serum lactate concentrations between before and after warm-up in both fit and unfit group ($p > 0.05$, Mean \pm SE, $n = 6$).

SET에 의한 lactate kinetics : SET 기간동안 혈청 젖산농도와 관련된 지표들 Table 1에 나타내었다. 혈청 젖산농도는 운동강도의 증가에 따라 지수함수적으로 증가하는 양상을 보였으며(Fig 2), 최대 운동강도 수행 후

Table 1. Lactate kinetics during an incremental standardized exercise test in fit and unfit Thoroughbred racehorses(mean±SE, n = 6)

Group	V_{max} (m/s)	V_{Ls4} (m/s)	ΔV_{Ls4-12}	$\Delta V_{Ls12-20}$	$L_{a_{peak}}$ (mmol/l)	Lactate Recovery (min)		
						$t_{75\%}$	$t_{50\%}$	$t_{25\%}$
Unfit	9.52±0.23	5.45±0.23	0.218	0.194	24.78±1.09	19.24	40.05	81.24
Fit	10.93±0.33	6.45±0.26	0.322	0.212	20.34±1.62	8.30	18.06	30.02
Average	10.23±0.29	5.95±0.23	0.270	0.203	22.56±1.15	13.77	29.06	55.63

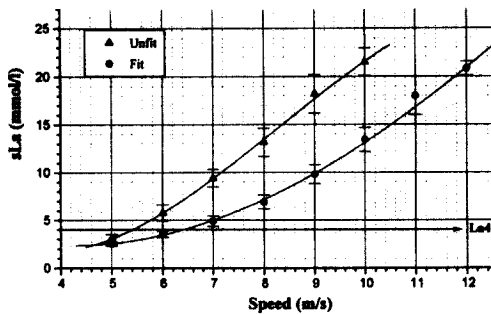


Fig 2. Relationship between serum lactate concentrations and exercise intensities during an incremental standardized exercise test in fit and unfit Thoroughbred racehorses(Mean±SE, n=6).

에 혈청 젖산은 지수함수적으로 감소하였다(Fig 3).

10% 경사도에서 수행할 수 있는 최대 운동강도는 조교군이 평균 10.93±0.33m/s(mean±SE, n = 6)로 비조교군의 9.52±0.23m/s(mean±SE, n = 6)에 비하여 높았다. 전체 검사기간중 최고 혈청 젖산농도($L_{a_{peak}}$)는 비조교군이 24.78±1.09mmol/l로 조교군의 20.34±1.62mmol/l에 비하여 약 21.8% 정도 높았다. 혈중 젖산축적이 시작되

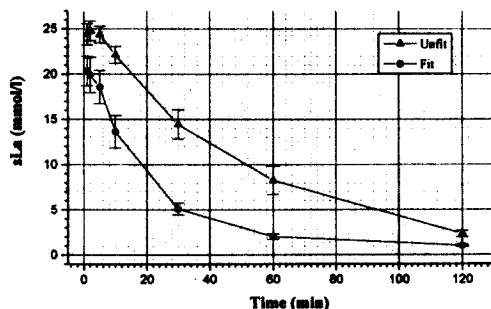


Fig 3. Serum lactate recovery curves related to the time after maximal intensity exercise in fit and unfit Thoroughbred racehorses(Mean±SE, n = 6).

는 시점으로 인정되는 V_{Ls4} 는 조교군이 6.45±0.26m/s로 비조교군의 5.45±0.23m/s 보다 약 1.0m/s가 상승하였으며 혈청 젖산농도가 4mmol/l에서 12mmol/l까지 증가하는 동안에 있어서 평균 운동속도의 변화(ΔV_{Ls4-12})는 조교군이 0.322m/s·mmol⁻¹로 비조교군의 0.218m/s·mmol⁻¹보다 높게 나타났다. Near-maximal 상태의 운동강도에서도 젖산축적에 대한 평균 운동속도 변화($\Delta V_{Ls12-20}$)는 조교군이 0.212m/s·mmol⁻¹로 비조교군의 0.194m/s·mmol⁻¹에 비하여 높게 나타났다.

최대 운동강도 달성 후 3.5m/s의 속도로 15분간 감속하면서 혈중 젖산 회복속도를 비교하였다(Table 1).

전체 검사기간중 최고 혈청 젖산농도는 비조교군은 운동후 2분만에 24.78±1.09mmol/l로 조교군에서 운동후 1분만에 기록된 20.34±1.62mmol/l에 비하여 약 21.8% 정도 높았다. 최고 혈청 젖산농도의 75% 수준까지 회복되는데 걸리는 시간은 조교군이 8.30분으로 비조교군의 19.24분에 비하여 약 2배 이상 빠르게 나타났고 50% 수준까지 회복하는 시간도 조교군이 18.05분으로 비조교군의 40.05분에 비하여 약 2배 이상 빨랐으며 운동후 120분간의 측정기간중 전체적으로 비조교군의 혈청 젖산농도는 조교군의 혈청 젖산농도 보다 높은 수준을 유지하였다(Fig 3).

전통 조교(conventional training) 전후 SET에 의한 혈청 젖산농도 변화 : 5살짜리 거세마를 대상으로 약 3주간 전통적인 방법으로 조교를 실시하기 전후에 SET를 실시하여 혈청 젖산농도를 측정하였다(Table 2, Fig 4, 5).

10% 경사도에서 피검자가 달릴 수 있는 최대 트레드밀 속도(V_{max})는 조교 전에 비해 조교 후에 0.4m/s 상승하였으며 V_{Ls4} 도 조교 후에 0.92m/s 상승하였다.

ΔV_{Ls4-12} 와 $\Delta V_{Ls12-20}$ 는 각각 약 10% 및 20% 정도 감소하였다. 전체 SET 기간중 측정된 $L_{a_{peak}}$ 는 조교 전에 비해 조교 후에 4.38mmol/l 증가하였으나 젖산회복과 관련

Table 2. Lactate kinetics during an incremental standardized exercise test before and after conventional training of 3 weeks with a 5 year-old gelding Thoroughbred racehorse

Training state	V_{max} (m/s)	V_{La4} (m/s)	ΔV_{La4-12}	$\Delta V_{La12-20}$	La_{peak} (mmol/l)	Lactate Recovery (min)		
						$t_{75\%}$	$t_{50\%}$	$t_{25\%}$
Before training	11.6	6.00	0.451	0.248	20.08	9.10	18.92	29.54
After training	12.0	6.92	0.404	0.198	24.46	9.10	19.51	33.40

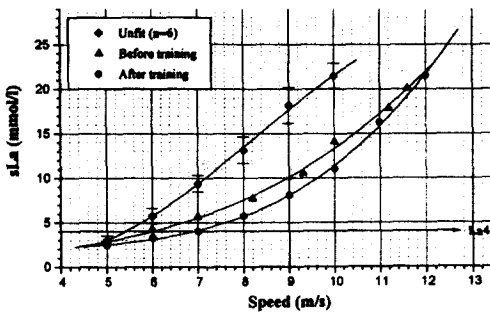


Fig 4. Relationship between serum lactate concentrations and exercise intensities during an incremental standardized exercise test before and after conventional training of 3 weeks with a 5 year-old gelding Thoroughbred racehorse.

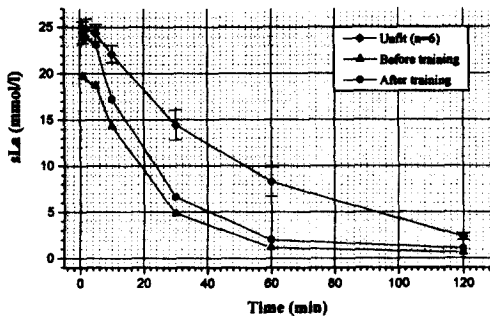


Fig 5. Serum lactate recovery curves related to the time after maximal intensity exercise before and after conventional training of 3 weeks with a 5 year-old gelding Thoroughbred racehorse.

된 lactate recovery kinetics는 조교 전후에 커다란 차이가 없었다.

고 찰

운동능력검사의 목적은 개체가 지닌 잠재 운동능력

및 exercise intolerance와 관련된 대사적인 지표를 측정하고 조교(훈련) 프로그램에 대한 경주마의 반응을 평가하는데 있다. 이러한 진단적 가치를 지니기 위해 운동능력 검사를 위한 절차와 방법은 가능한 비침습적이고 운동 능력이 떨어지는 말에 대해서도 적용이 가능해야 하며 빠른 시간 안에 결과를 얻을 수 있어야 한다. 또한 개체 별 잠재운동능력의 차이를 충분히 수용할 수 있어야 하며 무엇보다도 운동능력을 반영하는 대사적 지표를 정확히 측정할 수 있어야 한다². 그리하여 운동능력 평가를 목적으로 심박수, 혈중 젖산농도, 호흡지수 등이 이용되어 왔다. 이러한 여러가지 항목중 혈중 젖산농도만을 측정했다는 한계에도 불구하고 본 실험에 적용된 검사 프로토콜은 상기의 요건을 잘 만족하고 있다. 본 실험에서의 점증적 SET는 트레드밀 경사도 10%에서 최초 5m/s를 시작으로 매1분마다 1m/s씩 점진적으로 증가시켜 최대속도까지 가속하는 방법을 적용하였다. 피검마 대부분이 1-2회, 최대 3회 이하의 트레드밀 진입 및 보행 연습으로 문제없이 실험절차에 적응했다. 일단 적응 및 보행훈련을 마치면 모든 피검마가 한번 만에 점증적 SET를 수행해냈다. 그러므로 일정한 속도에서 말이 피로에 도달할 때까지 달리는 방법이나 수일간의 간격을 두고 수회에 걸쳐 최대하 속도에서부터 일정한 속도까지 단계적으로 증가시키면서 피검마가 피로에 도달할 때까지 달리는 운동검사 방법(constant speed test¹, steady-state test³, "run to fatigue" test⁴)에 비해 검사에 소요되는 시간적인 면에서 임상적인 운동검사에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 보인다.

피검마가 조교 경험이 거의 없는 말에서부터 경주에 출주하기 위해 조교를 완료한 말까지였으므로 본 실험에 적용한 SET 프로토콜은 더러브렛 경주마의 잠재 운동능력의 거의 모든 영역을 수용할 수 있는 것으로 판단된다.

혈중 젖산농도는 검사전 운동강도 및 기간에 따라 영

향을 받기 때문에 SET 최초 시작속도가 모든 검사에 있어서 동일해야 하며 검사전 warm-up에 의한 영향이 없어야 한다. 조교 적용도에 관계없이 혈중 젖산축적 시점 (Onset of blood lactate accumulation, OBLA)^{12,13,22}으로 인정되는 $V_{L_{on}}$ 가 5m/s 이상에서 측정되었으므로 본 실험에 적용한 SET의 최초 운동시작속도 5m/s는 운동능력 평가를 위한 자료추정을 위해 적절한 시작속도인 것으로 보인다.

평보 및 가벼운 속보로만 구성된 본 실험의 warm-up 전후의 혈청 젖산농도가 통계적으로 동일하였으므로 warm-up은 검사단계에서의 측정치에 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 오히려 조교군에서는 통계적으로 유의한 차이는 없지만 warm-up 후에 다소 감소하는 경향을 보였다. 이는 가벼운 운동에 의해 전신순환이 촉진되면서 아울러 간과 신장을 경유하는 내장순환(splanchnic circulation)을 증가시켜 젖산대사 및 제거를 촉진하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 비조교군에서는 warm-up 후에 약간 상승하는 경향을 보였다. 이는 동일한 수준의 warm-up 과정이 조교군에 비해 비조교군은 상대적으로 강한 운동강도로 작용하기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 그러나 그 농도가 약 1 mmol/l 수준이었으므로 $V_{L_{on}}$ 에 영향을 미칠 젖산농도가 아니라 생각된다. 실제로 비조교군 6두중 1두를 제외한 5두는 warm-up 전후의 젖산농도가 거의 같거나 낮게 나타났다. 따라서 본 실험에서 사용한 warm-up 프로토콜은 잠재 운동능력이 아주 낮은 말에 대해서도 운동능력 검사결과에 영향을 주지 않는 것으로 여겨진다.

운동선수를 대상으로 하는 스포츠 의학분야에서 훈련 기간 동안 혈중 젖산농도를 측정하여 운동강도를 조정하는 지표로 활용해왔다¹¹⁻¹⁴. 말에서도 혈중 젖산농도와 운동속도 간의 관계에 근거하여 다양한 형태의 운동검사를 실시한다^{18,23-25}. 사람에서는 혈중 젖산농도가 4mmol/l 되는 운동수준을 혈중 젖산축적이 시작되는 시점으로 본다^{12,13,22,26}. 말에서는 4mmol/l 이하의 혈중 젖산농도를 나타내는 강도의 운동을 반복해서 실시해도 혈중 젖산축적은 일어나지 않지만 그 이상의 운동강도에서 운동을 반복하면 급격한 혈중 젖산축적이 일어난다고 알려져 있으므로²⁰ 조교 중에 있는 말에서 일정기간 후에 조교 적용도를 비교하거나 다른 말들 간의 운동능력을 비교하기 위해서 혈청 젖산농도가 4mmol/l이 되는 시점에서의 트레이드밀의 속도($V_{L_{on}}$)를 유산소 운동능력 또는 지

구력 운동능력(endurance capacity)의 일반적인 지표로 사용한다^{1,17,19}.

본 실험에서도 비조교군의 $V_{L_{on}}$ 가 조교군에 비해서 약 1m/s 정도 낮게 나타났다. 그러나 전체 피검마의 평균 $V_{L_{on}}$ 가 약 5.0~7.0m/s로 나타나 Rose *et al*¹⁰이 비슷한 연령(3~4세)의 잘 훈련된 더러브렛 경주마에서 기록한 8.0~9.5m/s에 비해 현저히 낮았다. 이는 본 실험에 사용한 피검마의 조교 적용도가 낮아서 최대 운동강도에서의 유산소 운동능력이 낮기 때문으로 생각된다. 그러나 Rose *et al*¹⁰은 warm-up 후 최초속도를 8m/s로 시작하여 2m/s씩 가속하는 SET 프로토콜을 적용하였기 때문에 전 단계에서의 젖산축적이 낮았거나 없었기 때문일 수도 있다. 결국 이러한 검사 프로토콜의 변화에 의한 측정치의 차이는 각 경주마의 조교 적용도를 판단, 비교하여 일상적인 조교처방을 목적으로 하는 실험실에서는 항상 변하지 않는 표준화된 검사 프로토콜을 수립, 적용해야 하는 필요성을 반증한다고 할 수 있다.

본 실험에 적용한 SET 기간중 혈청 젖산농도가 4~12mmol/l에 해당하는 단계는 최대 운동강도에 해당하며 유산소 및 무산소 대사경로에 의한 에너지 공급의 상대적인 비율이 현저히 변화하는 이행기에 해당한다고 볼 수 있다. 따라서 이 기간동안에 유산소 지구력 조교가 잘 이루어진 말은 동일한 운동강도로 부과된 운동부하에 대해 상대적으로 무산소 대사경로에 대한 의존도가 낮아서 혈청 젖산농도의 증가속도가 낮을 것으로 예상된다.

실제로 본 실험에서도 혈청 젖산농도가 4mmol/l에서 12mmol/l까지 증가하는 동안의 평균속도 변화($\Delta V_{L_{4-12}}$)가 비조교군에 비해 조교군이 약 47.7% 높게 나타나 이 기간동안 유산소 대사경로에 의한 에너지 공급능력 및 무산소 대사경로의 효율성이 비조교군에 비해 높다는 사실을 시사하고 있다. Near-maximal 운동강도에 해당하는 혈청 젖산농도 12~20mmol/l 구간에서의 평균속도 변화($\Delta V_{L_{12-20}}$)는 조교군과 비조교군 간의 차이가 현저히 줄어들어 약 9.3% 정도였다. 이 기간동안에는 유산소 운동능력은 거의 항정상태에 도달하여 지속적인 운동속도 또는 운동강도의 유지 및 추가적인 운동능력 발휘를 위해서는 무산소 대사경로에 의한 에너지 공급이 우월하게 작용하는 구간인 것으로 추측된다²⁷.

따라서 본 실험의 결과로 보아 전통적 조교방법(conventional training method)의 효과는 주로 유산소 운동능

력의 개선으로 나타나며 무산소 운동능력의 개선효과는 유산소 운동능력에 비해 적을 것으로 추측된다. 그러나 이 기간동안의 체내 에너지 대사상황은 경주에서 결승선 수백m 전방에서 일어나는 체내 대사상황과 유사하므로 본 실험에서 측정된 $\Delta V_{La_{12-20}}$ 에 있어서 약 10%의 차이는 실제 경주에 있어서 결승선 근처에서는 상당한 운동능력의 차이로 나타날 수 있다고 생각된다. 결승선 전방에서는 경주 전체구간 평균속도 보다 얼마나 가속할 수 있는가가 경주성적을 좌우하게 되고 이때 이미 항정상태에 도달한 유산소 운동능력을 기반으로 추가적으로 무산소 대사경로를 동원하여 순간적이고 폭발적인 에너지 공급이 이루어져야 할 것으로 보인다. 이러한 관점에서 보면 SET의 단계중 피검마가 도달할 수 있는 최고 운동속도(V_{max})는 그 자체가 피검마의 종합적인 조교 적응도 및 운동능력의 한 지표가 될 수 있다. 또 트레드밀 상에서의 V_{max} 는 전적으로 피검마의 자발적인 운동의 지에 의존한다기 보다는 트레드밀에 의해 수동적으로 부과된 운동강도에서 사람에 의해 독려받는 상황이므로 이 때에도 순간적이고 폭발적인 무산소 운동능력의 발휘가 요구되는 상황으로 볼 수 있다. 따라서 V_{max} 또는 그후 약 1~2분 정도에 달성되는 혈중 최고 젖산농도 (La_{peak})는 *supramaximal intensity*에서의 무산소 운동능력 (anaerobic power)을 나타내는 지표로 볼 수 있다^{21,25,28}.

비조교군이 조교군 보다 약간 높은 수준의 La_{peak} 를 나타낸 본 실험의 결과로 보아 동일한 강도의 SET 과정에서 비조교군은 무산소 에너지 생산경로에 대한 의존도가 높아 젖산생성이 조교군에 비해 많았을 것으로 생각되며 또한 조교군에서는 세포 외로의 젖산배출, 젖산산화 및 당신생의 기질로써 젖산의 이용률 등이 증가되어 젖산 제거속도가 더 빨랐기 때문에 전체 SET 과정을 통해 측정된 젖산농도인 La_{peak} 가 비조교군에서 더 높게 나타난 것으로 보인다. Donovan과 Brooks²⁹는 훈련 전후에 *submaximal SET* 동안에 생성되는 젖산의 양은 동일하나 젖산제거의 효율성이 조교에 의해 극적으로 증가되므로 혈중 젖산농도가 낮아진다고 하였으며 Birks *et al.*³⁰은 더러브렛에서 동일한 프로토콜의 SET를 1시간 간격으로 연속해서 2회 실시하여 2번째 운동전 젖산농도는 첫 번째에 비해 높았으나 운동후 젖산농도는 첫 번째에 비해 낮았으므로 이러한 결과는 젖산제거의 증가에 기인할 것으로 제안했다.

그러므로 La_{peak} 가 비조교군에서 더 높게 나타난 실험

결과는 SET 과정에서 무산소 대사과정에 대한 의존도가 상대적으로 높을 것으로 보이는 비조교군에서의 젖산 생산증가와 아울러 조교군의 젖산대사 및 제거와 관련된 생리적 기능이 비조교군에 비해 더 발달된 것이 이 유인 것으로 보인다. 따라서 SET에 의한 La_{peak} 가 *supramaximal intensity*에서 무산소 운동능력의 간접적인 지표로써 의미를 갖기 위해서는 V_{La4} , LaV_{max} , V_{max} 및 최대 운동후 젖산 회복속도(lactate recovery kinetics)를 동시에 고려하여야 할 것으로 보인다.

경주마 1두를 대상으로 약 3주간 조교(전통적 방법)를 실시한 후 SET를 실시한 결과 V_{La4} , V_{max} 및 La_{peak} 는 증가하였으나 젖산 회복속도는 비소하였으며 최대 운동강도에서 혈청 젖산농도는 감소하였다. 따라서 이 경주마는 조교를 통해 최대 운동강도에서의 유산소 운동능력과 아울러 최대 운동강도에서의 무산소 운동능력이 모두 증가한 것으로 보인다. 그러나 $\Delta V_{La_{4-12}}$ 및 $\Delta V_{La_{12-20}}$ 에 있어서는 조교군이 비조교군에 비해 높았으나 경주마 1두를 상대로 한 SET에서는 조교 전에 비해 조교 후에 감소하였다. 이는 검사 당시 피검마의 조교량에 있어서 정도차이 때문이라 생각된다. 즉, 비조교군은 저강도로 장거리를 달리는 기초 지구력 훈련³¹⁻³³을 아직 실시하지 않은 상태이나 조교군은 평균적으로 기초 지구력 조교 중에 있거나 이미 마친 상태에 있으므로 최대 운동강도에서 두 군간의 $\Delta V/\Delta La$ 의 차이는 주로 기초 지구력 훈련의 효과로 개발된 유산소 운동능력의 향상을 반영하는 반면^{20,34-37}, 동일한 경주마를 대상으로 조교 전후에 측정된 $\Delta V/\Delta La$ 에 있어서의 감소는 피검마가 이미 경주에 출주하고 있을 정도로 기초 지구력 훈련을 이미 마치고 스프린트 조교 중에 있는 상태이므로 본 실험에서 '조교 전'이라 하더라도 최대 잠재 유산소 운동능력의 상당 부분이 이미 개발된 상태에서 검사를 시작하였기 때문에 3주 동안 실시한 '속보 → 느린 구보 → 강한 구보 또는 스프린트 → 속보' 형태로 진행되는 전통 조교에 의한 운동능력의 증가는 유산소 운동능력 보다 상대적으로 무산소 운동능력의 향상에 더 영향을 주었기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 SET를 통해 경주마 개체의 조교 적응도 및 운동능력을 판단코자 할 때에 $\Delta V/\Delta La$ 의 분석을 위해서는 피검마가 이미 실시한 조교 진행정도를 참고해야 할 것으로 보인다.

표준운동능력검사중 혈청 젖산농도에 대한 이상의 결과로 보아 V_{La4} , La_{peak} 및 lactate recovery kinetics는 운동

중 피검마의 대사상황을 어느 정도 반영하는 것으로 나타나 최대 산소섭취량, 심박수, 혈액가스분압 등을 함께 측정하여 분석하면 유산소 및 무산소 운동능력을 종합적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

표준운동능력검사는 잠재 운동능력의 측정, 경주마의 대사능력에 대한 조교 효과 분석 및 운동능력 부진에 대한 임상적 평가 등을 위해 반드시 필요한 과정이며 동시에 경주능력(racing performance)을 평가하기 위한 검사과정의 한 분야이다. 따라서 완전한 경주능력 평가를 위해서는 임상검사, 파행진단, 상부호흡기도 검사, 혈액검사, 방사선 검사 및 연조직에 대한 초음파 검사 등을 종합적으로 실시해야 할 것이다.

결 론

경주마의 조교 적합성 및 exercise intolerance를 평가할 수 있는 일정한 운동능력검사법을 수립하기 위하여 임상적으로 건강한 더러브렛 12두를 비조교군과 조교군으로 편성하고 점증적 표준운동능력검사법(incremental standardized exercise test)을 적용하여 운동강도에 따른 혈청 젖산농도 변화를 관찰하였다.

실험에 사용된 표준운동능력검사 프로토콜은 1.8m/s에서 5분 및 3.5m/s에서 3분간 warm-up을 실시한 후 트레드밀 경사도 10%에서 최초 5m/s에서부터 매1분 간격으로 1m/s 씩 최고속도까지 가속하도록 구성되었으며 매 운동단계의 마지막 15초 동안에 경정맥에 장착한 카테터를 통해 혈청 젖산농도 측정을 위한 시료를 채취하였다. 최고속도 도달후 15분간 경사도 0%, 운동속도 3.5m/s에서 마무리 운동을 하면서 운동후 1, 2, 5, 10, 30, 60 및 120분에 젖산 회복속도를 알아보기 위한 시료를 채취하였다.

피검마가 수행할 수 있는 최대 운동강도(V_{max})는 조교군($10.93 \pm 0.33\text{m/s}$, $\text{mean} \pm \text{SE}$, $n = 6$) 이 비조교군($9.52 \pm 0.23\text{m/s}$, $\text{mean} \pm \text{SE}$, $n = 6$)에 비해 높았으며 혈청 젖산농도는 두 군 모두 운동강도의 증가에 따라 지수함수적으로 증가하는 양상을 보였다. $V_{L_{max}}$ 는 조교군($6.45 \pm 0.26\text{m/s}$)이 비조교군($5.45 \pm 0.23\text{m/s}$)에 비해 높았으며 검사기간 중 최고 혈청 젖산농도(La_{peak})는 비조교군($24.78 \pm 1.09\text{mmol/l}$)이 조교군($20.34 \pm 1.62\text{mmol/l}$)에 비해 높았다. 전체 검사기간중 조교군의 혈청 젖산농도는 비조교군에 비해 낮았으며 운동후 젖산 회복속도도 조교군이 비조

교군에 비해 빨랐다.

이상의 결과로 보아 본 실험에 적용된 표준운동능력 검사 프로토콜은 더러브렛 경주마의 잠재 운동능력의 대부분 영역을 수용하고 있고 운동능력 검사지표로써 혈청 젖산농도는 피검마 간의 운동능력의 차이를 잘 반영하는 것으로 나타나 더러브렛 경주마의 조교 적합성 및 운동능력 평가를 위해 임상적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Thornton JR. Exercise testing. *Vet Clin North Am*, 1(3):573-595, 1985.
2. Seeherman HJ, Morris EA. Methodology and repeatability of a standardised treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in horses. *Equine Vet J*, suppl(9):20-25, 1990a.
3. Seeherman HJ, Morris EA. Application of a standardised treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in 10 Thoroughbred racehorses. *Equine Vet J*, suppl(9):26-34, 1990b.
4. Rose RJ, Hodgson DR. Clinical exercise testing. In Hodgson DR, Rose RJ, eds *The athletic horse*. WB Saunders Company, USA:245-257, 1994.
5. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. Principles of exercise testing and interpretation. Lea & Febiger, Philadelphia, 1987.
6. Persson SGB. On blood volume and working capacity in horses. *Acta Vet Scand*, Suppl 19:1-189, 1967.
7. Evans DL, Rose RJ. Determination and repeatability of maximum oxygen uptake and other cardiorespiratory measurements in the exercising horse. *Equine Vet J*, 20:94-98, 1988a.
8. Evans DL, Rose RJ. Cardiovascular and respiratory responses in Thoroughbred horses during treadmill exercise. *J Exp Biol*, 134:397-408, 1988b.
9. Harkins JD, Kamerling SG. Assessment of treadmill interval training of fitness. *J Equine Vet Sci*, 11:237-242, 1991.
10. Rose RJ, Hendrickson DK, Knight PK. Clinical exercise testing in the normal Thoroughbred racehorse.

- Aust Vet J*, 67(10):345-348, 1990.
11. Mader A, Heck H, Hollmann W. Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle distance runners and swimmers. In Landry F, Orban WAR, eds *Exercise physiology* 4, Miami:187-199, 1978.
 12. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med*, 2:23-26, 1981.
 13. Yoshida T. Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation. *Eur J Appl Physiol*, 53:196-199, 1984.
 14. Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med*, 22(3):157-175, 1996.
 15. Snow DH, MacKenzie G. Some metabolic effects of maximal exercise in the horse and adaptations with training. *Equine Vet J*, 9:134-140, 1977.
 16. Bayly WM, Grant BD, Pearson RC. Lactate concentrations in Thoroughbred horses following maximal exercise under field conditions. In Gillespie JR, Robinson NE, eds *Equine Exercise Physiology 2*, ICEEP Publications, Davis, California:426-437, 1987.
 17. Persson SGB, Essen-Gustavsson B, Funkquist P, et al. Plasma, red cell and whole blood lactate concentrations during prolonged treadmill exercise at $V_{L_{max}}$. *Equine Vet J*, Suppl 18:104-107, 1995.
 18. Guhl A, Linder A, Wittke von P. Use of the relationship between blood lactate and running speed to determine the exercise intensity of horses. *Vet Records*, 139:108-110, 1996.
 19. Persson SGB. Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. In Snow DH, Persson SGB, Rose RJ, eds *Equine exercise physiology*, Granta Editions, Cambridge:441-457, 1983.
 20. Wilson RG, Isler RB, Thornton JR. Heart rate, lactic acid production and speed during a standardised exercise test in standardbred horses. In Snow DH, Persson SGB, Rose RJ, eds *Equine exercise physiology*, Granta Editions, Cambridge:487-496, 1983.
 21. Hodgson DR, Rose RJ. Evaluation of performance potential. In Hodgson DR, Rose RJ, eds *The athletic horse*, WB Saunders Company, USA:231-243, 1994a.
 22. Jacobs I. Lactate, muscle glycogen and exercise performance in man. *Acta Physiol Scand*, suppl:495, 1981.
 23. Thornton J, Pagan J, Persson SGB. The oxygen cost of weight loading and inclined treadmill exercise in the horse. In Gillespie JR, Robinson NE, eds *Equine exercise physiology*, ICEEP Publications, California:206-215, 1987.
 24. Evans DL, Harris RC, Snow DH. Correlation of racing performance with blood lactate and heart rate after exercise in Thoroughbred horses. *Equine Vet J*, 25:441-445, 1993.
 25. Harkins MR, Beadle RE, Kamerling SG. The correlation of running ability and physiological variables in Thoroughbred horses. *Equine Vet J*, 25:53-60, 1993.
 26. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol*, 42:25-34, 1979.
 27. Evans DL, Rose RJ. Dynamics of cardiorespiratory function in standardbred horses during different intensities of constant-load exercise. *J Comp Physiol B*, 157:791-799, 1988c.
 28. Fujitsuka N, Yamamoto T, Ohkuwa T, et al. Peak blood lactate after short periods of maximal treadmill running. *Eur J Appl Physiol*, 48:289-296, 1982.
 29. Donovan CM, Brooks GA. Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *Am J Physiol*, 244:E83-92, 1983.
 30. Birks EK, Jones JH, Vandervort LJ, et al. Plasma lactate kinetics during exercise. In Persson SGB, Lindholm A, Jeffcott LB, eds *Equine Exercise Physiology 3*, ICEEP Publications, Davis, California:179-187, 1991.
 31. Evans DL. Training regimens: overview. In Hodgson DR, Rose RJ, eds *The Athletic horse*, WB Saunders Company, USA:387-392, 1994a.
 32. Evans DL. Training thoroughbred racehorses. In Hodgson DR, Rose RJ, eds *The Athletic horse*, WB Saun-

- ders Company, USA:393-397, 1994b.
33. Bayly WM. Training program. *Vet Clin North Am*, 1(3):597-610, 1985.
 34. Ivy JL, Withers RT, Van Handel RJ, *et al*. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol*, *Respirat Environ Exercise Physiol*, 48:523-527, 1979.
 35. Thornton JR, Essen-Gustavsson B, Lindholm A, *et al*. Effects of training and detraining on oxygen uptake, cardiac output, blood gas tensions, pH and lactate concentrations during and after exercise in the horse. In Snow DH, Persson SGB, Rose RJ, eds *Equine exercise physiology*, *Granta Editions*, Cambridge:470-486, 1983.
 36. Knight PK, Sinha AK, Rose RJ. Effects of training intensity on maximum oxygen uptake. In Persson SGB, Lindholm A, Jeffcott LB, eds *Equine Exercise Physiology 3*, *ICEEP Publications*, Davis, California:77-82, 1991.
 37. Hodgson DR, Rose RJ. Training regimens: Physiologic adaptation to training. In Hodgson DR, Rose RJ, eds *The athletic horse*, WB Saunders Company, USA:379-385, 1994b.
-