



실험실 측정지표를 활용한 4주간의 훈련이 여자 중거리 선수의 경기 기록에 미치는 영향: 사례 보고

이상현^{1,†} MS, 김수진^{1,†} PhD, 김영식² BS, 김창선³ PhD, 곽효범^{1,4,5} PhD, 강주희^{4,5,6} MD, PhD, 박동호^{1,4,5} PhD

¹인하대학교 스포츠과학과, ²인천광역시청, ³동덕여자대학교 체육학과, ⁴인하대학교 바이오메디컬사이언스학과, ⁵인하대학교 스포츠아트융합연구소, ⁶인하대학교 의과대학 약리학교실

Effects of 4-week Training Using Laboratory Index on Competition Record of Elite Female Middle-distance Runner: A Case Report

Sang-Hyun Lee^{1,†} MS, Su-Jin Kim^{1,†} PhD, Young-Sik Kim² BS, Chang-Sun Kim³ PhD, Hyo-Bum Kwak^{1,4,5} PhD, Ju-Hee Kang^{4,5,6} MD, PhD, Dong-Ho Park^{1,4,5} PhD

¹Department of Kinesiology Inha University, Incheon; ²Incheon Metropolitan City, Incheon; ³Department of Physical Education, Dongduk Women's University Seoul, Seoul; ⁴Department of Biomedical Science, Program in Biomedical Science & Engineering, Inha University, Incheon; ⁵Institute of Sports & Arts Convergence, Inha University, Incheon; ⁶Department of Pharmacology, College of Medicine, Inha University, Incheon, Korea

PURPOSE: To investigate the effect of a 4-week training using a laboratory index on the competition record of elite female middle-distance runners.

METHODS: A female, middle-distance, trained runner with the following characteristics: age, 20 years; height, 168.7 cm; weight, 64.3 kg; 27.2% fat; and VO_2max , 56.4 VO_2 mL/kg/min; volunteered to participate in this study. Before the training program, the participant took part in a 1,500-m track and field national event in April and the onset of blood lactate threshold was analyzed using (OBVA/vOBLA), VO_2max/vVO_2max , and tVO_2max tests. After completing the 4-week training program, the participant again took part in the 1,500-m track and field national event in May and her parameters were reassessed using the OBVA/vOBLA, VO_2max/vVO_2max , and tVO_2max tests.

RESULTS: Pre- and post-training indicate that vVO_2max did not improve; however, tVO_2max (206 seconds pre-training vs. 251.51 seconds post-training) and VO_2max (56.4 vs. 59.3 VO_2 mL/kg/min) significantly. However, this improvement in relative VO_2 was due to weight loss, and the absolute value of VO_2 (3.63 vs. 3.62 L/min) did not change. The 1,500-m race record in track and field events decreased significantly from a pre-training value of 5 minutes 03 seconds to a post-training value of 4 minutes 52 seconds.

CONCLUSIONS: The results of this study indicate that utilizing laboratory indicators including vOBLA, vVO_2max , and tVO_2max may be extremely valuable when prescribing training programs for middle-distance runners.

Key words: Middle-distance athlete, vVO_2max , tVO_2max , OBLA, Lactate threshold

서론

대표적인 지구력 강도 지표들로는 젖산 역치(lactate threshold, LT),

환기역기(ventilatory threshold, VT), 무산소 역치(anaerobic threshold, AnT), 최대젖산항정상태(maximal lactate steady state), 혈액젖산축적시점(onset of blood lactate accumulation, OBLA; ≈ 4 mmol/L), 최대산소섭

Corresponding author: Dong-Ho Park Tel +82-32-860-8182 Fax +82-32-860-8188 E-mail dparkosu@inha.ac.kr

*이 연구는 2021년도 인하대학교 교내연구비로 수행되었음.

†The authors contributed to this work equally.

Keywords 중거리달리기, 젖산역치, 최대산소섭취량, 실험실 지표

Received 26 May 2022 **Revised** 30 Jul 2022 **Accepted** 1 Aug 2022

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

취량(VO_2max) 등이 있다[1-3]. 하지만 현재까지 이들 지표에 대한 개념이나 정확한 측정 방법에 대해서는 명확한 합의가 이루어지지 않았음에도 불구하고, 이들 지표들은 장거리 종목 선수들의 경기력을 예측하는 지표뿐만 아니라 경기력의 개선을 위한 훈련 지표로도 활용되고 있다. 이러한 운동강도 지표이외에도 달리기 효율성(running economy, RE)은 중장거리 선수의 중요한 경기력 지표로 사용된다. 예를 들면, 특정 최대 달리기 속도에서의 체중단위당 분당 산소섭취량(VO_2 mL/kg/min at specific velocity)으로 대변되며, 이것은 선수 개인의 생체역학적, 해부학적 및 심폐체력적인 요인들이 결합된 기능을 반영하는 지표이다[4-7].

5,000 m 이상의 장거리 달리기 선수의 경우, 장시간 동안 VO_2max 이상의 강도로 달릴 수 없기에 VO_2max 는 심폐지구력의 상한선을 설정하는 중요한 변수로 장거리 선수의 경기력을 평가하는 주요 지표로 사용되었다. 즉, VO_2max 가 높은 선수일수록 절대적으로 높은 % VO_2max 에서 달릴 수 있다는 전제가 성립될 때, 높은 VO_2max 를 지닌 선수는 좋은 경기력을 보일 수 있다. 하지만 마라톤 수행력(기록)과 VO_2max 와는 중상관($r = -0.64$)인 반면 AnT와 OBLA는 각각 매우 높은 상관($r = 0.98, r = 0.96$) [8,9]을 보였으며, 주행 거리가 마라톤보다도 짧은 5 km와 10 km 달리기 수행력에서도 LT는 각각 높은 상관성($r = 0.95, r = 0.84$)을 보인 반면 VO_2max 와는 각각 중상관($r = 0.65, r = 0.67$)을 보였다[10]. 이러한 결과는 장거리 선수들의 대부분 또는 평균적으로 다른 종목에 비해 높은 VO_2max 를 지녔기에 궁극적으로 상대적으로 높은 % VO_2max 에서 얼마나 오랫동안 지속할 수 있는가를 반영하는 LT, AnT 또는 OBLA에 상응하는 속도가 빠를 수록 경기력이 우수하다는 것을 의미하는 것이다. 즉, 장거리 선수들의 경기력은 심폐지구력을 반영하는 높은 VO_2max 와 높은 % VO_2max 에서 오랫동안 지속하기 위한 근육의 대사적 적응(유산소에너지 동원능력, 산-염기 완충능력 등) 능력[11]의 차이로 나타날 수 있다.

한편 1,500 m와 같은 대표적인 중거리 달리기 수행력은 이보다 복잡한 능력이 요구된다. 경기 기록을 살펴보면, 여자 1,500 m 세계기록은 3분 50초 07이고 국내 여자선수가 세운 최고 기록은 1992년에 세운 4분 14초 18로, 약 24초의 차이가 있다. Stellingwerff et al. [12]은 1,500 m 달리기 경기에서는 약 100% VO_2max 이상의 속도로 달려야 하기에 높은 VO_2max 가 요구되며, 유산소 대사(약 70-84%)뿐 아니라 무산소 대사(16-30%)를 통한 ATP의 생성이 필요하고, 이때의 속도는 최대 스프린트 속도의 75-80%에 해당한다고 제안하고 있다. 즉, 장거리 종목과는 달리 유·무산소 ATP 생성이라는 두 가지 에너지 시스템의 강화 뿐

만 아니라 고강도 운동으로 인한 젖산 완충 능력이 요구되기에 장거리 종목보다 복잡한 능력이 동시에 요구된다.

이들 운동강도 지표들 이외에 선수들을 대상으로, VO_2max 에서의 달리기 속도인 vVO_2max (VO_2max 에서의 속도)가 새로운 강도 지표로 제안되었고[13-18], 일부 연구에서는 vVO_2max 를 VO_2max 를 개선시키는 최소한의 강도로 제안하기도 하였다[16]. 특히, vVO_2max 는 장거리 보다는 1,500 m와 3,000 m와 같은 중거리 종목(<5,000 m)의 레이스 페이스와 더 밀접한 관련이 있으며 중거리 선수들의 훈련 강도 지표로 활용 가능하다[13,18]. 그 예로, 국내 여자 최고기록은 4분 14초 18로, 약 4-5분 대이며, vVO_2max 의 속도에서 대부분의 1,500 m 중거리 여자 엘리트 선수의 경우 3분 내외를 지속할 수 있기에 1,500 m의 수행력을 가장 잘 대변할 수 있는 지표가 될 수 있다. 특히, vVO_2max 에서의 지속 시간(tVO_2max)은 유산소와 무산소 체력에 대한 정보를 제공하며, 훈련의 효과를 관찰하는 지표[13-18]뿐만 아니라 장거리 선수들의 훈련 프로그램에 적용할 수 있다고 제안되고 있다[14]. 따라서 중거리 선수들의 vVO_2max 를 지속하는 시간(tVO_2max)을 향상 또는 늘리는 것은 결국 경기 기록을 개선시키는 것이다. 한편, 고강도 인터벌 트레이닝은 VO_2max 를 가장 효과적으로 개선시키는 트레이닝 방법으로 제안되고 있으며, tVO_2max 를 증가시키기 위한 효과적인 훈련 방법이다[19].

따라서 본 연구의 목적은 실험실 측정 지표가 현장에 직접 적용되는 실험실 지표-현장적용 시스템을 구축하기 위하여 1) vVO_2max 와 tVO_2max 가 중거리 경기력을 평가할 수 있는 지표로 활용될 수 있는지를 검토하고 2) 이들 실험실 지표를 활용한 4주간의 훈련이 중장거리 선수의 경기력에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 I시 소속 여자 중장거리 1,500-5,000 m 종목에 출전하는 10년 경력을 지닌 선수로, 시 체육회와의 일정 조율 하에 4월(전국대학육상경기선수권대회)과 5월(전국중·고·고·대학육상대회)에 개최되는 전국육상대회를 타겟으로 선정하였다. 이에 따라 5월에 개최되는 전국대학육상경기선수권대회에 참여 가능한 학생 신분을 지닌 중장거리 선수는 두 명이었고, 이들 중 1명은 부상으로 인하여 참여를 지속할 수 없었기에 최종 1명을 대상으로 4주간의 실험실 지표를 활용한 훈련 효과 검증 실험을 진행하였다.

참여자 본 연구의 내용과 목적, 실험절차, 피험자의 인권보호, 연구

Table 1. Characteristics of Participants

Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat (%)	FFM (kg)	BMI (kg/m ²)
20	168.7	64.3	27.2	46.8	22.6

에 관련된 모든 정보에 대한 내용을 충분히 설명한 후 본 연구의 취지를 이해하고 자발적으로 참여에 동의하고 서명하였다. 참여자의 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구절차

측정은 총 2회 실시되었으며, 시기는 4월 전국대학육상경기선수권대회 참여 10일 전인 3월 말과 5월 중순인 전국중목별육상대회 종료 3일 후 각각 이틀 동안 이루어졌다. 첫째 날에는 체격 및 신체조성 그리고 트레드밀을 이용한 달리기 효율성(RE), 젖산 역치(lactate threshold) 및 OBLA 등이 측정되었다. 둘째 날에는 VO_{2max} , vVO_{2max} 및 tVO_{2max} 등이 측정되었다. 이들 검사는 최소 48시간의 간격을 두고 실시하였으며, 측정 프로토콜은 선행 연구에서 사용한 방법[16,20]을 일부 수정하여 사용하였다.

1) 체격 및 신체조성

신장과 체중은 반바지와 티셔츠를 입은 상태에서 측정기기(TBF2002, Tanita Co., Japan)를 이용하여 각각 0.1 cm와 0.1 kg 단위까지 계측하였다. 신체조성 측정과 관련하여, 체지방을 포함한 체성분 분석은 인피던스 방식의 체성분 분석기(inbody 4.0, Korea)를 이용하여 대상자들의 체지방률(% fat)을 측정하였다.

2) 달리기 효율성, 젖산역치 및 혈중젖산시점의 결정

인체계측 후 달리기 효율성(RE), 젖산역치(LT) 및 혈중젖산축적시점(OBLA) 등을 측정은 Ingham et al. [20]의 제시한 방법을 사용하였다. 구체적으로 살펴보면, warm-up으로 8-10 km의 속도로 15-20분간 조깅을 실시한 후 5분간의 스트레칭이 실시되었다. 모든 측정은 0% 경사도의 트레드밀 검사를 수행하였다. 달리기 효율성 측정은 호흡교환률(respiratory exchange ratio, RER)이 1.0 미만을 유지하는 달리기 속도에서 이루어지고, 이때 젖산 측정을 통한 LT와 OBLA를 판별하기 위하여 각 단계는 3분으로 구성되어 있으나 각 단계별로 30초간의 별도 휴식시간에 손가락 끝에서 finger-tip 방법을 이용하여 샘플을 채취한 후 즉각적으로 자동분석기를 이용하여 분석하였다(YSI1500-L, USA). 초기 속도는 12 km/h로 시작하여 18 km/h 까지 진행되었으며, 단계의 증

가는 3분마다 1 km/h의 속도가 증가되도록 구성하였다. RE는 트레드밀에서 최대하 속도($RER \leq 1.0$)로 달리는 동안 체중(kg)당 산소섭취량(VO_2)으로 산출하였다. 매 3분 단계 동안 가스분석기를 통해 호흡가스를 측정하였고, RE는 각 3분 단계의 마지막 1분 동안의 평균 VO_2 (mL/kg/min) 값으로 결정하였다.

3) VO_{2max} , vVO_{2max} , tVO_{2max} 결정

VO_{2max} 및 vVO_{2max} 측정을 위한 프로토콜 역시 본 측정에 앞서 warm-up으로 8-10 km의 속도로 15-20분간 조깅을 실시한 후 5분간의 스트레칭이 실시되었다. 하지만 초기 속도는 1차 측정에서 결정된 LT 속도보다 2단계 아래인 10 km/h로 실시하되, 각 단계는 2 km/h의 속도 증가와 함께 2분으로 구성하고 RER 수치가 1.0 이상이 되면 1분 단계와 함께 속도도 1 km/h로 감소하는 프로토콜[20]을 사용하였다. VO_{2max} 에 해당하는 속도를 1분간 완료한 속도가 vVO_{2max} 로 결정하였다. VO_{2max} 측정 종료 30분후 vVO_{2max} 속도에서의 최대지속시간(tVO_{2max})을 측정하였다.

4) 훈련 프로그램의 적용

Table 2에 제시된 훈련프로그램은 이번 사례 연구를 위해 계획된 실험실 지표를 활용한 훈련프로그램이다. 이 연구에 참여한 선수는 1시 소속인 1대학의 중장거리 학생 선수로, 4월 전국대학육상경기선수권대회에서는 1,500 m와 5,000 m 대회에 참여할 예정이었고, 5월 전국중목별육상대회에서는 1,500 m와 3,000 mSC(장애물 경기)에 참여할 예정이었다. 따라서, 훈련프로그램은 1,500 m와 3,000 mSC 중거리 종목의 경기력과 관련이 높은 vVO_{2max} 인터벌 훈련과 OBLA 트레이닝을 위주로 구성하였고, 이에 대한 4주간의 훈련 적응 상태를 모니터링하였다. 따라서 4월과 5월 대회의 경기 기록 비교는 이들 대회에 중복으로 참여하는 1,500 m를 타겟으로 설정하였다.

기존의 훈련프로그램은 주당 10개의 세션으로 구성되어 있었고, 이에 따른 훈련량은 평균 111.4 km/week 이었으나 아래의 새로운 훈련프로그램은 주당 7개의 세션으로 감소함으로써 주당 훈련량은 90.9 km/week으로, 약 18.4% 감소하였다. 실험실 지표는 1,500 m, 3,000 mSC와 5,000 m 경기력과 밀접한 관련이 있는 변인들로, 젖산역치(lactate

Table 2. Training program

Variables	Intensity (% vVO_{2max})	Speed (km/h)	Duration (per session)	Frequency (per week)
Warm up/cool down	57-67%/57%	10.2-12	20-25 min/12 min	For every session
LT	72%	13	45-60 min	2
OBLA	80.5% with 5 min easy run at 60% between sets.	14	40 min (2×20 min)	1
Interval training	6 intervals at 95% for 2 m 7 s-28 s (62-72% tVO_{2max}) with 2 min 20 s-30 s easy run at 60% between sets	17	6×2 min 7 s-28 s	2
Free run	67-100%	12-18	30-60 min	1

LT, lactate threshold, ≈ 2 mmol/L; OBLA, onset of blood lactate threshold, ≈ 4 mmol/L; vVO_{2max} , speed at VO_{2max} ; tVO_{2max} , time at VO_{2max} .

threshold, LT; ≈ 2 mmol/L), onset of blood lactate threshold (OBLA; ≈ 4 mmol/L), $vVO_2\max$ (speed at $VO_2\max$) 및 $tVO_2\max$ (running time at $VO_2\max$)의 변인들을 활용하여 새로운 훈련프로그램을 작성하여 적용하였다(Table 2).

3. 자료처리방법

본 연구를 통해서 수집된 자료는 SPSS 28.0 통계 프로그램을 이용하였으며 모든 변인들의 측정값은 처치 전후에 대한 기술 통계자료 (descriptive statistics)로 제시하였다.

연구 결과

고강도 인터벌 트레이닝은 4주간 주당 2회 처치되었으며, 1회 세션 당 6회 반복되는 인터벌 트레이닝 프로그램이 적용되었다. 이에 대한 모니터링 결과는 Table 3과 같다. 초기 1주 차에서는 95% $vVO_2\max$ 의

강도로 62% $tVO_2\max$ (2분 7초)를 실시한 후 2주 차부터는 강도는 그대로 유지한 채 $tVO_2\max$ 는 72% (2분 28초)로 증가하여 처치하였다(Fig. 1). 모니터링 결과에서처럼, 4주간 실시된 95% $vVO_2\max$ 강도에서의 6회 반복 시 평균 심박수와 산소섭취량은 각각 180.5박과 49.9 mL/kg/min으로 HRmax의 93.0%와 88.5% $VO_2\max$ 에 해당하는 고강도 훈련임을 확인할 수 있었다(Table 3).

한편, 고강도 인터벌 트레이닝의 기반이 되는 OBLA 트레이닝은 4주간 주당 1회 처치되었으며, 1회 세션에 2번 반복되는 $vOBLA$ 훈련(OBLA의 속도에서 2회 \times 20분)이 진행되었다. 실제 OBLA 훈련 프로그램에서 모니터링한 자료는 Table 4와 같다. OBLA 속도($vOBLA$)는 실험실에서 젯산 농도인 약 4 mmol/L에 해당하는 속도인 14 km/h가 적용되었다. $vOBLA$ 강도에서의 2회 반복 시 평균 심박수와 산소섭취량은 각각 177.3박과 48.3 mL/kg/min으로 HRmax의 91.4%와 85.7% $VO_2\max$ 에 해당하는 고강도 훈련임을 확인할 수 있었다(Table 4).

달리기효율성(RE)은 주어진 최대하 달리기 속도에서의 에너지 요구

Table 3. 6 repetitions at 95% $vVO_2\max$ for 62-72 $tVO_2\max$ interval training program

Weeks	Interval training program	Distance (m)	HR (bpm)	HRmax (%)	Time (min:sec)	VO_2 (mL/kg/min)	$VO_2\max$ (%)
1st wk	6rep. at 95% $vVO_2\max$ for 62% $tVO_2\max$	3,600	184	94.8	2:05	52.6	93.3
	Recovery Run	2,400	166	85.6	2:12	39.7	70.4
2nd wk	6rep. at 95% $vVO_2\max$ for 72% $tVO_2\max$	4,200	180	92.8	2:31	49.3	87.4
	Recovery Run	2,400	165	85.1	2:26	39.2	69.5
3rd wk	6rep. at 95% $vVO_2\max$ for 72% $tVO_2\max$	4,200	182	93.8	2:26	50.9	90.2
	Recovery Run	2,400	162	83.5	2:30	37.6	66.7
4th wk	6rep. at 95% $vVO_2\max$ for 72% $tVO_2\max$	4,200	176	90.7	2:25	46.8	83.0
	Recovery Run	2,400	155	79.9	2:28	33.6	59.6
Average	6rep. at 95% $vVO_2\max$ for 62-72% $tVO_2\max$	4,050	180.5	93.0	02:21.75	49.9	88.5
	Recovery Run	2,400	162	83.5	02:24	37.5	66.5

The recovery run was performed for 2 minutes 20 seconds at an intensity of 60% $vVO_2\max$, 10.2 km/h; $vVO_2\max$ was 18 km/h; 95% $vVO_2\max$ was 17 km/h; 62% $tVO_2\max$ was 2 min 7 sec; 72% $tVO_2\max$ was 2 min 28 sec; recovery run.

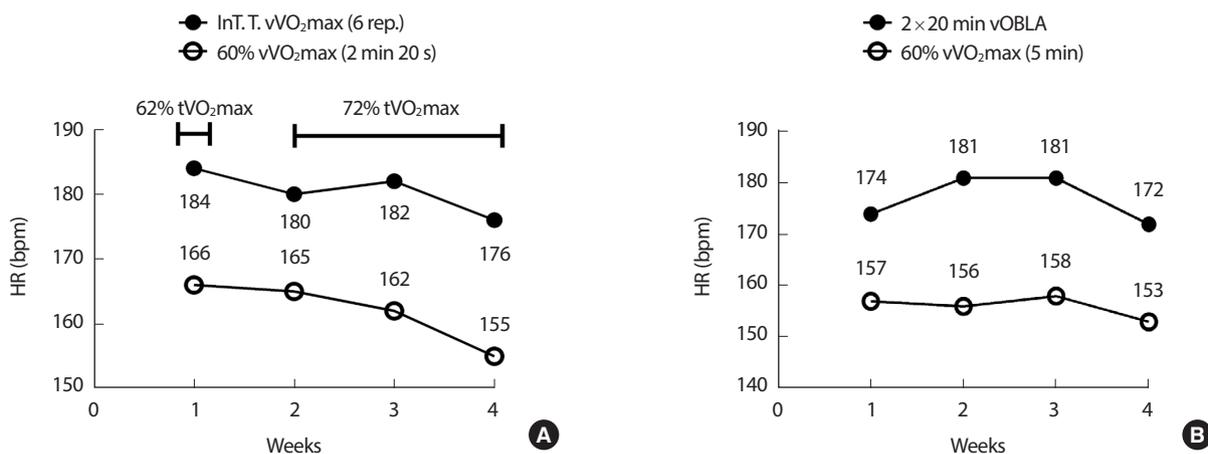
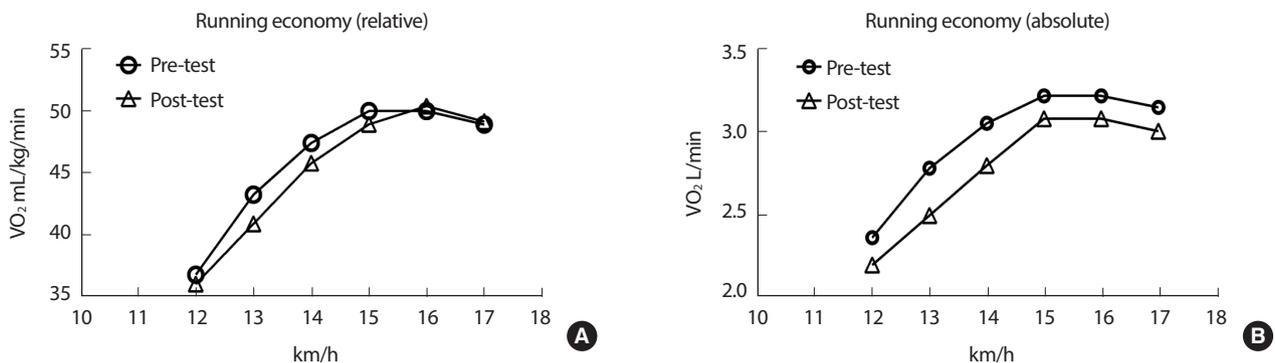


Fig. 1. Monitoring results of heart rate response following 4 weeks of (A) high-intensity interval training (6 repetitions at 95% $vVO_2\max$) and (B) OBLA training programs (2 \times 20 minutes).

Table 4. 2 repetitions at vOBLA for 20 minutes training program

Weeks	OBLA training program	Distance (m)	HR (bpm)	HRmax (%)	Time (min:sec)	VO ₂ (mL/kg/min)	VO ₂ max (%)
1st wk	vOBLA	9,340	174	89.7	20:00	46.4	82.3
	Recovery Run	1,700	157	80.9	5:00	34.3	60.8
2nd wk	vOBLA	9,340	181	93.3	20:00	50.9	90.2
	Recovery Run	1,700	156	80.4	5:00	33.9	60.1
3rd wk	vOBLA	9,340	181	93.3	20:00	50.7	89.9
	Recovery Run	1,700	158	81.4	5:00	34.6	61.3
4th wk	vOBLA	9,340	173	89.2	20:00	45.3	80.3
	Recovery Run	1,700	153	78.9	5:00	32.8	58.2
Average	vOBLA	9,340	177.3	91.4	20:00	48.3	85.7
	Recovery Run	1,700	156	80.4	5:00	33.9	60.1

The recovery run was performed for 2 minutes 20 seconds at an intensity of 60% vVO₂max, 10.2 km/h; The speed of OBLA was 14 km/h.

**Fig. 2.** Changes in running efficiency (RE) before and after 4-week of training. (A) Relative VO₂ (mL/kg/min). (B) Absolute VO₂ (L/min).

를 의미하며, 달리기 속도에서의 VO₂로 표시된다[4,21]. 본 연구에서는 동일 참여자의 새로운 실험실 지표를 적용하기 전과 후의 RE를 비교 하였으나 처치 전의 체중(64.3 kg)과 처치 후의 체중(61.1 kg) 차이(Δ3.2 kg)가 발생하여 주어진 속도에서의 VO₂ 상대값과 절대값을 Fig. 2에 제시하였다. 상대값(mL/kg/min)의 경우, 낮은 속도(13-15 km/h)에서는 처치 전에 비해 처치 후 다소 개선되는 경향만 나타났으나 속도가 증가(16-15 km/h)함에 따라 차이가 나타나지 않은 반면 절대값(L/min)에서는 낮은 속도뿐 아니라 높은 속도에서도 두드러지게 개선되는 경향이 나타났다.

Table 5는 새로운 실험실 강도 지표(vVO₂max, tVO₂max)의 처치 전(pre-training)과 후(post-training)의 인체계측 변인, 4월(전국대학육상경기선수권대회)과 5월(전국중목벌육상대회)에서의 경기 기록 및 1,500 m 중거리 기록과 밀접한 관련이 있는 지표들로, 실험실에서 측정된 주요 강도 지표 변인들의 자료를 제시하였다. 인체계측 변인 중 체중은 처치 전에 비해 처치 후 약 3.2 kg의 감소가 나타났다. 경기 기록은 처치 전(4월 대회 기록, 5분 03초=17.82 km/h)에 비해 처치 후(5월 대회 기록, 4분 52.25초=18.49 km/h)에 약 11초가 단축되어 약 3.8%의 개선이 나타났다. 한편, 실험실에서 측정된 변인 중 VO₂max (L/min) 절대(absolute)값은 변화하지 않았으나 상대(relative, ml/kg/min) 값은 증가하였다. 이는

체중 감소에 의한 것으로 상대 값의 증가로 절대 값의 변화는 나타나지 않아 실질적인 VO₂max의 개선은 나타나지 않았다. 또한 HRmax, 젖산 역치(LT)와 OBLA에서의 젖산 농도 그리고 vVO₂max의 속도 등은 변화하지 않았다. 그러나 훈련량(111.4 km/주 vs. 90.9 km/주)은 약 18% 감소했음에도 불구하고, 젖산역치(LT)는 13 km/h에서 14 km/h으로 그리고 OBLA 강도에서의 속도(vOBLA)는 14 km/h에서 15 km/h으로, 각각 1 km/h씩 증가하였다. 이와 함께 LT와 OBLA에서의 심박수(170 bpm과 175 bpm)는 각각 5박과 9박이 증가한 반면 젖산 농도(2.38 mmol/L과 3.77 mmol/L)는 오히려 각각 0.11과 0.06 mmol/L 감소하는 경향을 보여 4주간의 훈련에 잘 적응한 것으로 예측할 수 있다. 특히 vVO₂max는 변화하지 않았으나 tVO₂max는 3분 26초에서 4분 11.51초로 약 24% 개선되었다는 것은 흥미로운 결과이다.

논 의

4주간의 처치 전, 후의 연구 결과를 토대로 얻은 주요 발견은 vOBLA, vVO₂max와 tVO₂max와 같은 실험실 지표의 활용은 여성 엘리트 중거리(1,500 m) 선수의 경기력 향상에 효과적일 수 있다는 것이다. 특히, 본 연구에 참여한 선수는 학업을 병행하는 학생 선수로서 평균 훈련

Table 5. Anthropometry, Performance and test measures before and after 4-week of training

Variables	Pre-training*	Post-training#	Δ (%)
Anthropometric			
Height (cm)	168.7	168.7	-
Weight (kg)	64.3	61.1	↓3.2
Fat (%)	27.2	24.8	↓2.4
FFM (kg)	46.8	46.0	↓0.8
BMI (kg/m ²)	22.6	21.5	↓1.1
Performance			
1,500-m time (min:s)	5:03	4:52	↓11 (13.8%)
1,500-m speed (m/s)	4.95	5.13	↑0.18
1,500-m speed (km/h)	17.82	18.49	↑0.67
Physiological test			
VO ₂ max (L/min)	3.63	3.62	-
VO ₂ max (ml/kg/min)	56.4	59.3	↑2.9
HRmax (bpm)	194	195	-
HR at LT (bpm)	170	175	↑5
Lactate at LT (mmol/L)	2.38	2.27	-
Speed at LT (km/h)	13	14	↑1
HR at OBLA (bpm)	175	184	↑9
Lactate at OBLA (mmol/L)	3.77	3.71	-
Speed at OBLA (km/h)	14	15	↑0.8 (↑5.52%)
vVO ₂ max (km/h)	18	18	-
tVO ₂ max (seconds)	3:26	4:11.51	↑45.51 (↑24.03%)
Training volume (km/week)	111.4	90.9	↓20.5 (↓18.4%)

LT, lactate threshold, ≈2 mmol/L; OBLA, onset of blood lactate threshold, ≈4 mmol/L; vVO₂max, speed at VO₂max; tVO₂max, time at VO₂max.

*Pre-training, 10 days before the start of the National University Athletics Championships in April; #Post-training, 3 days after the end of the National Athletics Competition in May.

련량이 기존의 111.4 km/week에서 90.9 km/week (4주간 평균)로 약 18.4% 감소하였음에도 불구하고 경기 기록이 3.8% (11초) 개선되었다는 점에서 의미가 있다.

Hill & Rowell [22]의 연구에 따르면, VO₂max를 유지 또는 향상시키고 수행력을 개선시키기 위해서는 tVO₂max의 60%와 75% 범위의 시간이 할당되어야 한다고 제안하였다. 하지만 본 연구에서는 1-4주 동안 vVO₂max (18 km/h)의 95% 강도(17 km/h)를 이용하여 6회 반복 인터벌 트레이닝을 처치하였다. 실제 훈련프로그램의 계획은 1-2주차 동안은 새로운 훈련프로그램의 적응 기간으로 95% vVO₂max (17 km/h)로 실시한 후 3-4주차에서는 100% vVO₂max (18 km/h) 강도로 처치하려 하였으나, 2주차에서 6회 반복되는 95% vVO₂max 인터벌 프로그램을 100% 소화하지 못하고(tVO₂max 증가에 따른 5회 반복) 중도에 훈련프로그램을 포기하는 상황이 나타났다. 따라서 4주간, 주당 2회의 인터벌 프로그램의 강도는 95% vVO₂max로 고정하고 2주 차부터 tVO₂max 만을 증가시키는 프로그램을 적용하였다. 따라서 첫 주의 tVO₂max는 62% (2분 7초 = 600 m × 6회)를 처치하였고, 2부터는 72% (2분 28초

= 700 m × 6회)로 증가시켰다. 흥미로운 것은 Fig. 1에서처럼, 첫 주에 62% tVO₂max (2분 7초)를 처치하였을 때의 평균 심박수는 각각 184 bpm (95% HRmax)이었고, 둘째 주부터 셋째 주까지 72% tVO₂max (2분 28초)로 늘렸음에도 불구하고 각각 180 bpm (92.8% HRmax), 182 bpm (93.8% HRmax)과 172 bpm (91.0% HRmax)으로 점차 유지 또는 감소하는 경향을 보였다. 이러한 적응 효과는 아마도 tVO₂max를 훈련 전에 비해 증가시키는 결과(사전 3:26에서 4:11.51, 24% 개선)를 초래하여 궁극적으로 경기 기록을 개선하는 효과(4월 대회 기록, 5:03 vs. 5월 대회 기록, 4:52, 3.8% 개선)로 이어졌을 것으로 판단한다. 특히, vVO₂max의 속도는 1,500 m의 경기 속도와 유사한 속도이기에 이 속도에서의 지속시간 증가는 경기 기록과 밀접한 관련이 있기 때문이다.

또한, 인터벌 트레이닝의 기반이 되는 OBLA 트레이닝은 4주 동안 주당 1회 처치되었으며, 1회 세션에 2번 반복되는 vOBLA 훈련(OBLA의 속도에서 2회 × 20분)이 진행되었다. OBLA 훈련 역시 프로그램이 진행되는 1주부터 4주 동안의 평균심박수는 각각 174 bpm (89.7% HRmax), 181 bpm (93.3% HRmax), 181 bpm (93.3% HRmax)과 173 bpm (89.2% HRmax)으로 다소 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 본 연구에서 처치한 고강도 인터벌 트레이닝과 OBLA 훈련 프로그램에 선수가 잘 적응했다는 것을 보여주는 결과이다(Fig. 1). 실제로 4월 대회에서는 5,000 m에 참가하였고, 5월 대회는 3,000 m (장애물, 12분 10초) 경기에 참여하여 경기 기록에 대한 직접적인 비교가 불가능하였으나 경기 기록(12분 10초)을 속도로 환산하면, 14.8 km/h 속도에 해당하며, 이 속도는 본 연구에 참여한 선수의 OBLA에 상응하는 속도이기에 본 연구에서 처치한 vOBLA 훈련에 잘 적응하였다는 것은 경기력에도 긍정적 영향을 미쳤을 것이라 판단한다.

달리기 효율성(RE)은 주어진 속도에서의 에너지 요구를 반영하는 지표로 사용된다. 하지만 에너지 효율성은 다양한 요소들(대사적, 심폐적, 생체역학적 및 근신경계) [4]기를 반영하는 지표이며, 개인마다 이러한 특성이 다르기에 단순히 주어진 속도에서의 VO₂만으로 효율성의 좋고 나쁨을 판단하는 것은 무리가 있다[23]. 그럼에도 불구하고 여전히 달리기 속도에서의 VO₂가 달리기 효율성을 평가하는 지표로 사용되고 있다는 것은 중장거리 경기력의 주요 지표이자 개인의 훈련 평가뿐 아니라 선수 간의 달리기 효율성을 비교하는 주요 수단으로 사용된다는 점이다. 본 연구의 경우, VO₂ 상대값(ml/kg/min)이 낮은 속도(13-15 km/h)에서는 처치 전에 비해 처치 후 다소 개선되는 경향만 나타났으나 속도가 증가(16-15 km/h)함에 따라 차이가 나타나지 않은 반면 절대값(L/min)에서는 낮은 속도뿐 아니라 높은 속도에서도 두드러지게 개선되는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 처치 전과 후의 체중변화와 밀접한 관련이 있다. 즉, 처치 후 체중이 감소함에 따라 상대값에서는 두드러진 차이가 나타나지 않았지만 VO₂ 절대값이 모든 속도(12-17 km/h)에서 두드러지게 감소하였고, 이는 체중감소만으로도

달리기 효율성이 개선됨을 의미하는 것이다. 이와 관련하여 Saltin et al. [24]은 체중감소에 따른 달리기 효율성 개선에 대하여 제시한 바 있듯이, 선수들의 적절한 신체 조성 평가를 통한 체중 감량에 대한 지침을 마련하는 것도 필요해 보인다.

본 연구에서의 한계점은 기간이 4주라는 짧은 기간(4월 및 5월 전국 대회)이었기에 100% $v\dot{V}O_{2max}$ 의 강도 훈련을 하기에는 다소 무리가 있었다는 점이다. 둘째, 대부분의 중장거리 선수의 경우, 한 대회에 여러 종목(1,500 m, 3,000 m, 5,000 m 등)에 참여하기에 특정 지표만($v\dot{V}O_{2max}$, $t\dot{V}O_{2max}$)을 이용하여 훈련프로그램을 계획하는 것은 한계가 있다. 셋째, 주기화의 원리에 입각하여 마지막 4주차에서는 OBLA 훈련 대신 100% $v\dot{V}O_{2max}$ 인터벌 훈련을 추가함으로써 tapering을 실시하였다면 더 좋은 결과를 도출할 수도 있었을 것으로 판단한다. 넷째, 본 연구 결과의 객관성 확보를 위한 피험자 수의 확대가 필요해 보인다.

결론

결론적으로, $v\text{OBLA}$, $v\dot{V}O_{2max}$ 와 $t\dot{V}O_{2max}$ 와 같은 실험실 지표의 활용은 여성 엘리트 중거리(1,500 m) 선수의 경기력 향상에 효과적일 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는 무엇보다 결과의 객관성 확보를 위해, 샘플 사이즈를 늘리고 훈련기간을 6주 이상으로 설정한 후 시합 기간에 맞춰 적절한 tapering을 적용한다면 보다 흥미로운 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단한다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: Y Kim, H Kwak, J Kang, D Park; Data curation: S Lee, S Kim, C Kim; Formal analysis: S Kim, C Kim; Methodology: H Kwak, J Kang.

ORCID

Sang-Hyun Lee <https://orcid.org/0000-0002-5639-0437>
Su-Jin Kim <https://orcid.org/0000-0001-7674-8873>
Chang-Sun Kim <https://orcid.org/0000-0003-4317-3609>

Hyo-Bum Kwak <https://orcid.org/0000-0003-0451-4554>
Ju-Hee Kang <https://orcid.org/0000-0001-5235-8993>
Dong-Ho Park <https://orcid.org/0000-0003-1863-0652>

REFERENCES

- Anderson GS, EC Rhodes. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med.* 1989;8:43-55.
- Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, et al. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med.* 1985;6:117-30.
- Sjodin B, Jacobs I, Karlsson J. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med.* 1981;2:23-6.
- Daniels JT. A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17(3):332-8.
- Anderson T. Biomechanics and running economy. *Sports Med.* 1996; 22(2):76-89.
- Bonacci J, Chapman A, Blanch P, Vicenzino B. Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. *Sports Med.* 2009;39(11):903-21.
- Tawa N, Louw Q. Biomechanical factors associated with running economy and performance of elite Kenyan distance runners: a systematic review. *J Bodyw Mov Ther.* 2018;22:1-10.
- Farrell P, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sport Exerc.* 1979;11:338-44.
- Karlsson J, Jacobs I. Onset of blood lactage accumulation during muscular exercise as a threshold concept. *Int J Sports Med.* 1982;3(4):190-201. doi:10.1055/s-2008-1026087.
- Kumagai S, Tanaka K, Matsuura Y, Matsuzaka A, Hirakoba K, et al. Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1982;49(1):13-23. doi:10.1007/BF00428959.
- Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(1):70-84. doi:10.1097/00005768-200001000-00012.
- Stellingwerff T, Bovim IM, Whitfield J. Contemporary nutrition interventions to optimize performance in middle-distance runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019;29(2):106-16. doi:10.1123/ijnsnem.2018-0241.
- Smith TP, McNaughton LR, Marshall KJ. Effects of 4-wk training using V_{max}/T_{max} on VO_{2max} and performance in athletes. *Med Sci*

- Sports Exerc. 1999;31(6):892-6. doi:10.1097/00005768-199906000-00019.
14. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26:254-7.
 15. Billat V, Beillot J, Jan J, Rochcongar P, Carre F. Gender effect on the relationship of time limit at 100% VO₂max with other bioenergetic characteristics. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:1049-55.
 16. Billat V, Hill DW, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Effect of protocol on determination of velocity at VO₂max and on its time to exhaustion. *Arch Physiol Biochem.* 1996;104:313-21.
 17. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 90, 100, and 105% of velocity at VO₂max (maximal aerobic speed), and critical speed in elite long-distance runners. *Archiv Physiol Biochem.* 1995;103:129-35.
 18. Billat V, Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity (Review Article). *Sports Med.* 1996;22:90-108.
 19. Milanović Z, Sporiš G, Weston M. Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO₂max improvements: A systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports Med.* 2015;45(10):1469-81. doi: 10.1007/s40279-015-0365-0.
 20. Ingham SA, Whyte GP, Pedlar C, Bailey DM, Dunman N, et al. Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(2):345-50. doi:10.1249/mss.0b013e31815a83dc.
 21. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.* 2004;34(7):465-85.
 22. Hill DW, Rowell AL. Response to exercise at the velocity associated with VO₂max. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:113-6.
 23. Barnes KR, Kilding AE. Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med Open.* 2015;1(1):8. doi:10.1186/s40798-015-0007-y.
 24. Saltin B, Larsen H, Terrados N, Bangsbo J, Bak T, et al. Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports.* 1995;5:209-21.