Living High Training Low가 육상 중·장거리 선수의 유산소성 운동능력 및 경기력에 미치는 영향

박훈영·남상석·최우혁·선우 섭

경희대학교

Abstract

Park, H. Y., Nam, S. S., Choi, W. H., Sunoo, S. Effects of 4 weeks living high training low (LHTL) on aerobic exercise capacity, concentration in oxygenated skeletal muscle, cardiac function and time trial in elite middle and long distance runners. *Exercise Science*. 20(4): 425-440, 2011. Effects of 4 weeks living high training low (LHTL) on aerobic exercise capacity, concentration in oxygenated skeletal muscle, cardiac function and time trial in elite middle and long distance runners. The purpose of this study was examine after 20 athletes of University and high school divided into Living Low Training Low (control) group and Living High Training Low (experimental) group, to effect LHTL that resided 3,000 m normobaric hypoxic chamber more than 16 hours per day, 4 weeks and trained at 700-1,330 m high ground more than 4 hours per day after equipped 3,000m normobaric hypoxic chamber at 1,000 m high ground on aerobic exercise capacity, oxygenated skeletal muscle concentration, cardiac function and performance. The results of this study were as followed: 1) Conditioning variables weren't different between groups and abnormal results. So, training was desirable. 2) In oxygen transport capacity and blood concentration of Iron (whole body variables), there weren't difference between groups. 3) In energy expenditure during intensity of LT (16 km/hr) long duration (60 min) treadmill exercise, LHTL group had lower heart rate, oxygen consumption and lactate concentration than LLTL group, so, we verified that LHTL presents effect of running economy. 4) In oxygenated concentration(local variables of vastus lateralis during intensity of LT (130 watt) long duration (30 min) bike exercise, LHTL group had a tendencies of increasing O₂Hb and TOI, decreasing HHb than LLTL group, so, raised possibility that LHTL increases oxygen using capacity. 5) Cardiac function (local variables) during intensity of LT (130 watt) long duration (30 min) bike exercise, LHTL group had lower HR and higher SV than LLTL group. so, we verified that LHTL improves oxygen using capacity of cardiac muscle. 6) In performance, all groups had improved 3,000 m and 5,000 m time trial but more improved 3,000 m and 5,000 m time trial in LHTL group. Viewed in these results, we verified possibility of LHTL targeting athletes of University and high school in domestic 700-1,330 m high ground improved performance was caused by improved running economy and cardiac function in whole body and local long duration exercise.

Key words : Living high training low (LHTL), Running economy (RE), Cardiac function, Performance

초 록

박훈영, 남상석, 최우혁, 선우 섭. Living High Training Low가 육상 중·장거리 선수의 유산소성 운동능력 및 경기력에 미치는 영향. *운동과학* 제20권 제4호. 425-440. 2011. 본 연구는 대학 및 고교 육상 중·장거리 선수 20명을 대상으로 Living Low Training Low(LLTL) 그룹(대조군)과 Living High Training Low(LHTL) 그룹(실험군)으로 나눈 후 1,000 m 고지에 3,000 m 상당고도의 저산소실을 설치한 후 4주 1일 16시간 이상 저산소실에 거주하고 700-1,330 m 고지에서 1일 4시간 이상 트레이닝을 실시하는 LHTL이 유산소성 운동능력, 골격근 산소화 농도, 심장기능 및 경기력 향상에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 모든 컨디션닝 변인들에 대한 그룹 간 차이 및 이상소견이 나타나지 않아 본 연구의 트레이닝 형태가 바람직했다. 2) 혈중산소운반능력 및 철분농도에 있어서 두 그룹간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 3) LT강도(16 km/hr) 장시간(60분) 트레드밀 운동 시 실험군은 대조군과 비교해 심박수, 산소섭취량 및 젖산이 낮게 나타나 LHTL이 running economy 효과를 나타냈다. 4) LT강도(130 watt) 장시간(30분) 자전거 운동 시 대퇴 외측광근 산소화 농도에 있어서 실험군은 대조군과 비교해 O₂Hb와 TOI는 증가 경향을, HHb는 감소 경향을 나타내 LHTL이 골격근 산소화 농도를 향상시키는 가능성이 제기되었다. 5) LT강도(130 watt) 장시간(30분) 자전거 운동 시 심장기능은 실험군이 대조군에 비해 HR은 낮게, SV는 높게 나타나 심장근의 산소이용능력이 향상되었다. 6) 경기력에 있어서 대조군과 실험군 모두 개선되었으나 실험군에서 보다 더 개선되는 경향을 나타냈다.

주요어 : Living high training low (LHTL), Running economy (RE), 심장기능, 운동수행능력

* 이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 (NRF-2010-327-G00119)"

I. 서론

올림픽 역사상 최초로 고지(2,240 m)에서 개최된 멕시코 올림픽 이후 다양한 형태의 저산소 트레이닝이 개발되었으며, 이로 인해 미국 및 아프리카 엘리트 선수들의 경기력은 향상되었다(淺野와 小林, 2004). 그러나 국내의 경우 실험시설의 취약으로 인해 2000년 이전까지 저산소 트레이닝에 대한 연구실적은 매우 부족하며 대부분의 연구도 국외에서 이루어졌다(김기진 등, 1994; 서재명 등, 1995; 정용수 등, 1997; 김진해 등, 1998). 이로 인해 일부 엘리트 육상선수들은 프랑스의 샤모니, 미국의 엘버커기, 중국의 곤명등지에서 트레이닝을 실시하였으나 그 효과는 일정하지 않다(선우 섭, 2006). 이러한 현상을 극복하고 경기력 향상을 위해 1998년 태백선수촌을 개관하였으나 상대적으로 낮은 고도(Robach et al., 2006), 강한 바람, 안개, 지도자의 인식부재 등으로 인해 이를 이용한 트레이닝 관련 연구는 극히 제한적이다.

한편 2003년 K대학에 저압·저산소 트레이닝 센터가 개관되면서 육상(선우 섭, 2006), 편수영(선우 섭 등, 2007), 농구(선우 섭 등, 2005), 고소 등반대원(이은주와 선우 섭, 2006), 일반 대학생(남상석 등, 2007) 등을 대상으로 간헐적인 훈련과 노출이 유산소성 운동능력에 미치는 영향을 검토하였으나 다양한 결과가 나타나고 있다. 이와 같이 연구결과가 일치하지 않는 이유는, 저산소 환경에서의 훈련 및 노출효과가 VO_{2max} , 최대환기량, hemoglobin(Hb), erythropoietin(EPO), 2,3-diphosphoglycerate(2,3-DPG), 미토콘드리아 밀도, 마이오글로빈, 글리코겐 저장량, 근육 완충능력, 젖산역치(lactate threshold; LT), 혈중산소운반능력, hypoxia inducible factor-1(HIF-1), vascular endothelial growth factor(VEGF), phosphofructokinase(PFK)와 같은 생리적인 변인을 개선시키는 긍정적인 작용과 함께 혈액점성 증가와 최대심박수, 단백질 합성능력, $Na^{+}-K^{+}$ -ATPase 활성도, 트레이닝 질·양 등의 저하를 초래하는 부정적인 작용이 트레이닝 형태와 피검자의 생리적 특징 그리고 트레이닝 후 테스트 시기 등에 따라 미묘하게 다르게 나타나기 때문이다(Semenza, 2000; Hoppeler & Vogt, 2001; 淺野와 小林, 2004; Lundby et al., 2005; Sandiford et al., 2005; Brugniaux et al., 2006; Robach, 2006). 이에 저산소 트레이닝의 효율성을 높이기 위해 기존의 living high training high(LHTH), living low training high(LLTH)에서 긍정적인 측면을 부각시킬

수 있는 living high training low(LHTL)이 파생되었다(Levine et al., 1992).

이와 관련된 연구를 살펴보면, Levine & Stray-Gundersen(1997)은 육상선수를 대상으로 LHTL그룹, LHTH그룹, living low training low(LLTL)그룹으로 나눈 후 2,500 m에서 거주하고 1,250 m에서 훈련하는 LHTL의 생리적 효과를 검토한 결과 LHTL그룹에서 VO_{2max} , 적혈구, 환기역치 및 5,000 m 경기기록이 향상된 것을 보고하였으며, Liu 등(1998)은 철인 3종경기 선수를 대상으로 LHTL그룹과 LLTL그룹으로 나눈 후 2주 동안 1일 12시간 이상 1,980 m에 노출하고 해수면 수준에서 트레이닝하는 LHTL의 생리적 효과를 검토한 결과, end-systolic volume(ESV)의 감소와 ejection fraction(EF), cardiac output(CO), stroke volume(SV)의 증가를 통해 LHTL이 ESV를 증가시키고 β -adrenergic receptor 증가와 심장근의 에너지 이용률을 향상시킨다고 보고하였다. Stray-Gundersen 등(2001)은 육상선수를 대상으로 LHTL그룹과 LLTL그룹으로 나눈 후 2,500 m에서 거주하고 1,250 m에서 훈련하는 LHTL의 생리적 효과를 검토한 결과, VO_{2max} 의 3%상승, EPO 2배의 증가, 3,000 m기록의 1.1% 향상, 개인 최고기록을 피검자의 1/3이 경신한 것을 통하여 LHTL이 혈중산소운반능력의 향상을 통해 경기력을 향상시킨다고 보고하였으며, Brugniaux 등(2006)은 엘리트 육상 중·장거리 남자선수를 대상으로 6일은 2,500 m, 12일은 3,000 m 고지에서 하루에 14시간 이상 거주하고 1,200 m 고지에서 트레이닝 하는 LHTL의 생리적 효과를 검토한 결과, VO_{2max} 와 최대유산소성파워의 증가, 19.5 km/hr 운동 시 HR 감소효과가 15일 간 지속된다고 보고하였다. 또한 Brugniaux 등(2006)과 Robach 등(2006)은 지구성 운동선수, 육상 중거리 선수, 노르딕 스키선수, 수영선수를 대상으로 효율적인 LHTL 프로그램을 검토한 결과, 적정고도는 2,200~3,000 m, 훈련기간은 2~4주, 저산소 노출시간은 14시간/일 이상, 운동강도는 지속주 보다는 고강도의 인터벌 트레이닝이 바람직하며, 혈중산소운반능력과 VO_{2max} 의 개선을 통한 경기력 향상을 위해서는 충분한 철분섭취가 중요하다고 주장하였다.

이와 같이 Levine & Stray-Gundersen(1992)이 경기력 향상을 위해 LHTL를 제안한 이후 이와 관련된 대부분의 선행연구는 erythropoiesis에 의한 혈중산소운반능력의 변화가 VO_{2max} 의 증가를 가져오고 이러한 변화가 경기력에 영향을 미칠 것이라는 가정 하에 실시하였기 때문에

혈중산소운반능력의 변화 없이 경기력이 개선된 생리적인 원인을 밝혀내지 못하고 있는 실정이다(Levine, 2002; Paula & Niebauer, 2010). 이에 혈중산소운반능력 뿐만 아니라 전신수준에서의 에너지대사 관련 변인은 물론, 국소적인 영역에 해당하는 골격근의 산소이용능력, 심장기능 변화가 경기력에 미치는 영향을 검토하는 것은 LHTL의 효과를 평가하기 위한 매우 중요한 사안이라 할 수 있다. 특히 국내의 경우에는 2011년 대구 세계육상선수권대회, 2012년 런던올림픽, 2014년 인천 아시안게임 등을 앞두고 육상종목의 경기력 향상에 많은 관심을 보이고 있어 세계적인 엘리트 선수들이 선호하고 있는 LHTL의 훈련 효과를 인체의 전신적 및 국소적인 수준에서 다각적으로 검토하는 것은 매우 흥미로운 문제이다.

이에 본 연구에서는 대학육상경기연맹에 소속된 K대학 및 C체고 육상 중·장거리 선수를 LLTL그룹(대조군)과 LHTL그룹(실험군)으로 분류한 후 태백선수촌 부근의 1,000 m 고지 리조트에 3,000 m 상당고도의 저산소실을 설치한 후, 1개월간, 4주간, 1일 16시간 이상 거주하고 700~1,330 m 낮은 고지대에서 하루에 4시간 이상 트레이닝을 실시하는 LHTL이 혈중산소운반능력 및 에너지대사, 골격근 산소화농도, 심장기능의 변화와 그에 따른 경기력 개선 미치는 영향을 검토하여 국내의 LHTL 시설설치의 가능성과 효율적인 저압·저산소 트레이닝 프로그램을 제고하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구대상은 K대학 및 C체고 남자 육상선수 20명으로 이들을 LLTL 그룹(대조군) 10명과 LHTL 그룹(실험군) 10명으로 분류하였다. 대상자는 최근 6개월 동안 정형외과적인 부상과 저산소 트레이닝 경험이 없는 사람으로 이

Table 1. Characteristics of subjects

Variable	LLTL(n=10)	LHTL(n=10)
Exposure altitude(m)	700~1,330 m	3,000 m
Training altitude(m)	700~1,330 m	700~1,330 m
Age(yrs)	17.0±1.33	17.6±1.5
Height(cm)	173.1±4.84	174.8±7.45

Value : Mean SD

들에게 연구목적과 방법을 충분히 설명한 후 참가동의서를 받았다. 각 그룹의 신체적 특징은 <Table 1>에서 보는 바와 같다.

2. 실험 설계

실험군은 1,000 m 고지 리조트에 4주간(주 7일, 700~1,330 m 고지대에서 새벽, 오전 및 오후 훈련과 3,000 m 상당고도의 저산소 아파트에서 1일 16시간 이상의 수면 및 일상생활)의 LHTL훈련을 실시하였다. 아울러 LHTL 훈련 1주전 및 훈련 종료 5일 후 혈중산소운반능력 및 철분농도, LT강도(16 km/hr) 장시간(60분) 트레드밀 운동 중 에너지대사량, LT강도(130 watt) 장시간(30분) 자전거 운동 중 골격근 산소화농도 및 심장기능을 분석해, 3,000 m 및 5,000 m time trial과의 관계를 검토하였다. 단 3,000 m 및 5,000 m time trial은 트레이닝 시작 2일 후 및 종료 1 일전에 각각 측정하였다. 아울러 트레이닝 기간 중 일일 컨디션 변화를 관찰하였으며, 각 개인의 컨디션 상태를 일일 트레이닝 내용에 개별적으로 적용시켰다. 한편 대조군은 저산소 조건을 제외한 모든 조건에서 실험군과 동일하게 처치하였다(Fig. 1).

Fig. 1. Experimental design

3. 측정항목 및 방법

1) 컨디션 검사

매일 매일의 효과적인 트레이닝을 위해 수면 중 심박수, 기상 시 신체구성 및 동맥혈 산소포화도, 혈압, 헤모글로빈, 뇨 RBC, bilirubin, urobilinogen, ketone, protein, nitrite, glucose, pH, specific gravity, leukocyte를 그리고 일일 수분섭취량, 에너지소비량을 분석하였으며 이 자료

를 트레이닝에 적용하였다.

2) 혈중산소운반능력 및 철분농도

트레이닝 1개월 전부터 혈중산소운반능력을 개선하기 위하여 철분제(iron 18 700 mg, General Nutrition Corporation, U.S.A.)를 1일 1회, 1정, 대조군과 실험군 모두에게 복용시켰다. 혈중산소운반능력 및 철분농도는 전완정중정맥에서 약 6 ml의 혈액을 채취하여 헤파린 처리된 튜브에 담아 냉장실에 넣어둔 후 (주)녹십자의료재단의 임상검사소에 의뢰하여 분석하였다.

3) 트레드밀 운동 중 에너지대사

자동호흡 대사분석기인 Vmax229(Sensormedics, U.S.A.), 트레드밀(Taeha, Korea), 심박수 측정기(Polar, Finland), 젯산분석기(YSI 1500, U.S.A.)를 이용하여, LT수준(약 16 km/hr)에서 60분간 운동 시 에너지대사량을 측정하여 트레이닝 전·후의 에너지효율성을 비교하였다. 측정은 운동 시작 5분까지는 1분 간격으로 그 후에는 5분 간격으로 분석하였으며, 혈중젯산농도는 운동시작 10분까지는 2분 간격으로 그 이후에는 10분 간격으로 분석하였다.

4) 자전거 운동 중 골격근 산소화농도

골격근 산소화농도는 근적외선 분광측정장치(NIRO-200, Japan)을 이용하여 우측 대퇴외측광근에서 측정하였다. 각 피검자에게 자전거 에르고미터(75XL II, Combi, Japan)의 안장 높이를 맞춘 다음, NIRO probe를 무릎에서 10~15 cm 위쪽의 대퇴외측광근에 부착한 후 안정 시 및 LT강도(약 130 watt)의 30분 운동 중 oxygenated hemoglobin(O₂Hb), deoxygenated hemoglobin(HHb), tissue oxygenation index (TOI, Δ [O₂Hb-HHb])을 실시한 것으로 측정된 다음, 운동 시작 5분까지는 1분 간격으로 이후에는 5분 간격으로 분석하였다.

5) 자전거 운동 중 심장기능

심장기능은 각각의 피검자에게 자전거 에르고미터의 안장 높이를 맞춘 다음, Physioflow(U.S.A.)를 이용하여 경동맥상부, 경동맥하부, 왼쪽 가슴상부, 왼쪽 가슴하부, 흉골 부위에 각각 전극을 붙인 후, 안정 시 및 LT강도(약 130 watt)의 30분 운동 중, 운동 5분까지는 1분 간격으로 이후에는 5분 간격으로 HR, stroke volume(SV), end-

diastolic volume (EDV), end-systolic volume(ESV), cardiac output(CO)를 측정하였다.

6) Time trial(경기력)

트레이닝 시작 2일 후 및 종료 1 일전에 공인육상경기장에서 3,000 m와 5,000 m time trial을 측정하였다.

4. LHTL 트레이닝 방법

새벽 및 오전·오후 운동은 태백선수촌 주변 운동시설(700~1,330 m)을 이용하여 <Table 2>와 같은 내용으로 주 7회, 4주간 실시하였으며, 운동형태는 조깅(65~75% HRmax), 가속주(75~90% HRmax), Hill운동(75~90% HRmax), 1,200 m 인터벌(90~95% HRmax)로 구성하였다.

Table 2. Schedule of LHTL

Time	Activity schedule	Environment
06:00	Wake up	3,000 m
06:00~06:30	Conditioning check	1,000 m
06:30~08:00	Dawn exercise	700~1,330 m
08:00~09:00	Breakfast	1,000 m
09:00~12:00	Morning break and exercise(2 times in week)	1,000 m 3,000 m
12:00~13:00	Lunch	1,000 m
13:00~15:00	Afternoon break	3,000 m
15:00~17:30	Afternoon exercise (Consumption of water, lactate analysis)	700~1,330 m
17:30~18:30	Dinner	1,000 m
18:30~22:00	Special lecture and evening break	3,000 m
22:00~06:00	sleeping	3,000 m

◎ Simulated 3,000 m altitude exposure time: 16.5 hrs

◎ Simulated 1,000 m altitude exposure time 3.5 hrs

◎ Simulated 700~1,330 m altitude training time: 7.5 hr

5. 평압·저산소환경 조성방법

평압·저산소 환경조성을 위해 (주)SFET(Speration & Filter Energy Technology)에서 개발한 질소발생장치를 이용하였다(Fig. 2). 이 질소발생장치는 PSA(pressure swing absorption) 흡착원리를 이용한 것으로 일단 2개의

흡착타워 안에 CMS(carbon molecular sieve)라 불리는 흡착제를 충전하였다. 그 후 흡착타워 A에 압축공기가 도입되면 가압상태에서 CMS에 산소, 탄산가스, 수분 등이 흡착되고 흡착되지 않은 질소, 아르곤은 흡착타워를 통과한다(흡착공정). 2~3분경과 후 A타워는 흡착공정이 종료되며 이어서 흡착타워 B에 압축공기를 도입하여 같은 식으로 제품질소를 계속 생산한다. B타워가 흡착공정을 하는 동안 A타워는 대기압 또는 진공으로 감압, 흡착된 산소 등을 탈착시켜 CMS를 깨끗한 상태로 만든다(재생공정). 이 흡착공정과 재생공정을 번갈아 반복함으로써 연속적으로 제품질소를 생산할 수 있다(제품질소: 질소+아르곤). 이러한 원리로 작동하는 질소발생장치를 이용하여 2개의 저산소 숙소 내로 질소분압이 높은 공기를 주입하여 산소농도를 14.5%(3,000 m 상당고도)로 일정하게 유지하였다.

Fig. 2. Nitrogen generating device for normobaric hypoxic chamber

6. 자료처리 방법

본 연구를 통해 획득한 자료의 분석은 SPSS 18.0 for windows를 이용하여 모든 측정치에 대한 기술통계량을 산출하였다. 일일 컨디션의 그룹 간 차이를 분석하기 위해 독립 t-검정을 실시하였으나 지면상 결과를 구술로 나타내었으며, 혈중산소운반능력 및 철분농도와 경기력에 대해서는 상호작용효과의 검정을 위해 반복요인이 있는 이원분산분석을 실시하였다. 또한 나머지 모든 변인들의 집단 간 트레이닝 전·후 차이 및 그룹 간 차이를 분석하기 위해 종속 및 독립 t-검정을 실시하였다. 모든 검정에서 통계적 유의수준은 5%미만으로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 일일 컨디션

트레이닝 기간 동안 수면 중 심박수와 기상 시 신체구성, 동맥혈산소포화도, 혈압, 헤모글로빈농도, 뇨중 RBC, bilirubin, urobilinogen, ketone, protein, nitrite, glucose, pH, specific gravity, leukocyte 그리고 일일 수분섭취량, 일일 에너지소비량 모두 정상치가 나타났으며, 그룹 간 차이 및 이상소견이 나타나지 않았다. 따라서 컨디션 문제로 개개인의 트레이닝 질 저하를 유발하지 않아 적합한 LHTL를 실시하였다고 볼 수 있으며, 컨디션 자체가 종속변인에 영향을 미치지 않았다고 볼 수 있다.

2. 혈중산소운반능력 및 철분농도

혈중산소운반능력 및 철분농도 관련 변인인 RBC, Hct, reticulocyte, EPO, ferritin, mean corpuscle volume (MCV), mean corpuscle hemoglobin(MCH), mean corpuscle hemoglobin concentration(MCHC)에 있어서 유의한 상호작용효과가 나타나지 않았으며 시기별 및 그룹 간 차이 또한 나타나지 않았다<Table 3>.

Table 3. Variation of blood oxygen transporting capacity and blood ferritin concentration

Variables	Group	Pre	Post	Group ×Time
RBC ($\times 10^6$ /ul)	LLTL	4.74 $\pm$ 0.22	4.83 $\pm$ 0.24	.155
	LHTL	4.95 $\pm$ 0.29	4.94 $\pm$ 0.29	
Hct (%)	LLTL	43.70 $\pm$ 2.60	44.96 $\pm$ 2.96	.418
	LHTL	45.35 $\pm$ 2.68	45.81 $\pm$ 2.34	
Hb (g/dl)	LLTL	14.04 $\pm$ 0.84	14.29 $\pm$ 0.82	.182
	LHTL	14.77 $\pm$ 0.77	14.69 $\pm$ 0.78	
Reticulocyte (%)	LLTL	0.98 $\pm$ 0.21	0.85 $\pm$ 0.21	.936
	LHTL	0.92 $\pm$ 0.21	0.78 $\pm$ 0.16	
EPO (mU/ml)	LLTL	12.43 $\pm$ 2.97	10.98 $\pm$ 3.36	.327
	LHTL	9.24 $\pm$ 2.89	9.37 $\pm$ 5.19	
Ferritin (ng/ml)	LLTL	32.55 $\pm$ 20.55	30.50 $\pm$ 17.05	.325
	LHTL	43.36 $\pm$ 23.67	37.33 $\pm$ 21.17	
MCV (fl)	LLTL	91.55 $\pm$ 3.93	92.70 $\pm$ 2.38	.733
	LHTL	92.14 $\pm$ 2.32	92.89 $\pm$ 2.97	
MCH (pg)	LLTL	29.82 $\pm$ 1.27	29.73 $\pm$ 1.11	.891
	LHTL	29.60 $\pm$ 0.91	29.4 $\pm$ 0.94	
MCHC (%)	LLTL	32.58 $\pm$ 0.63	32.07 $\pm$ 0.86	.638
	LHTL	32.13 $\pm$ 0.56	31.81 $\pm$ 0.92	

Value : Mean SD

3. 트레드밀 운동 중 에너지대사

트레이닝 전·후의 LT강도 장시간 트레드밀 운동 중 에너지대사를 살펴보면, HR의 경우 대조군은 모든 시점에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나 실험군은 운동 50분, 회복 1분, 2분, 4분, 5분에서 유의한 차이가 나타났으며, 전체적으로 감소하는 경향이 나타났다<Fig. 3>. VO_2 의 경우 대조군은 운동 50분에서 유의한 차이가 나타났으나 전체적으로 변화가 없었다. 실험군은 운동 2분, 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분, 35분, 40분에서 각각 유의한 감소를 나타냈다<Fig. 4>. 혈중젖산농도의 경우 대조군은 안정 시, 운동 2분, 4분, 6분, 8분, 10분에서, 실험군은 운동 2분, 4분, 6분, 8분, 10분, 20분, 40분, 50분, 60분, 회복 3분, 5분에서 각각 유의한 차이가 나타났으며, 실험군이

Fig. 3. Variation of HR with training in LHTL and LHTL group
a. significant difference between pre and post in group($p < .05$)

Fig. 5. Variation of blood lactate concentration with training in LHTL and LHTL group
a. significant difference between pre and post in group($p < .05$)

대조군에 비해 감소하는 경향이 더 크다<Fig. 5>.

4. 자전거 운동 중 골격근 산소화 농도

트레이닝 전·후의 LT강도 장시간 자전거 운동 시 골격근 산소화농도를 나타내는 O_2Hb , HHb, TOI는 두 그룹 모두 모든 시점에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, O_2Hb 와 TOI는 실험군에서 트레이닝 후에 증가하는 경향을, HHb는 감소하는 경향을 나타냈다<Fig. 6, 7, 8>.

5. 자전거 운동 중 심장기능

트레이닝 전·후의 LT강도 장시간 자전거 운동 시 심장기능을 살펴보면, HR의 경우 대조군은 모든 시점에서

Fig. 4. Variation of VO_2 with training in LHTL and LHTL group
a. significant difference between pre and post in group($p < .05$)

Fig. 6. Variation of O_2Hb with training in LHTL and LHTL group

유의한 차이가 나타나지 않았으나 실험군은 운동 2분, 3분, 4분, 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분에 있어서 유의한 차이가 나타났다<Fig. 9>. SV의 경우 대조군은 모든 시점에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나 실험군은 운

동 30분을 제외한 모든 시점에서 유의한 차이가 나타났다<Fig. 10>. EDV의 경우 대조군과 실험군 모두 모든 시점에 있어서 유의한 차이가 나타났다<Fig. 11>. ESV의 경우 대조군은 안정 시, 운동 1분, 3분, 4분, 5분, 25분에서

Fig. 7. Variation of HHb with training in LHTL and LHTL group

Fig. 8. Variation of TOI with training in LHTL and LHTL group

Fig. 9. Variation of HR with training in LHTL and LHTL group
a. significant difference between pre and post in group($p < .05$)

Fig. 10. Variation of SV with training in LHTL and LHTL group
a. significant difference between pre and post in group($p < .05$)

Fig. 11. Variation of EDV with training in LHTL and LHTL group
a. significant difference between pre and post in group($p < .05$)

Fig. 12. Variation of ESV with training in LHTL and LHTL group
a. significant difference between pre and post in group($p < .05$)

유의한 차이가 나타났으나 실험군은 안정 시에만 유의한 차이가 나타났다(Fig. 12). CO의 경우 대조군과 실험군 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig. 13).

Fig. 13. Variation of CO with training in LLTL and LHTL group

6. Time trial

Time trial의 변화를 살펴보면, 3,000 m와 5,000 m 모두 대조군과 실험군에 있어서 유의한 변화가 나타났으며, 그 변화율은 실험군에 있어서 더 큰 경향을 나타냈다(Table 4).

Table 4. Variation of 3,000 m and 5,000 m time trial

Group	Time trial	Pre	Post	Group ×Time
LLTL	3,000 m	603.50±26.42 ^a	584.00±26.82 ^a	.039*
LHTL	(sec.)	599.00±24.67 ^a	563.85±26.70 ^a	
LLTL	5,000 m	1036.20±38.68 ^a	997.30±32.63 ^a	.064
LHTL	(sec.)	1063.90±45.92 ^a	1008.10±42.84 ^a	

* : significant interaction

a : difference between pre and post($p < .05$)

Value : Mean ±SD

IV. 논의

1. 혈중산소운반능력 및 철분농도

저압·저산소 노출은 Hb, Hct 상승을 통한 혈액의 산

소운반능력 및 유산소성 파워를 증가시켜 평지의 경기력을 향상시킨다(Ekblom & Burglund, 1991; Birkland, 2000). 아울러 저산소 노출 및 트레이닝은 새로운 혈관생성 및 성장을 유발하며, 산소운반을 증가시키는데 관여하는 단백질들을 만드는 유전자의 transcription이 활발하게 이루어지게 하거나 저산소 상태에 적응할 수 있도록 대사기능을 조절한다(Semenza, 2001). 따라서 저산소 자극은 산소를 운반하는 기질의 생성뿐만 아니라 이들을 운반하는 모세혈관의 신생을 촉진하는 자극조건이다. 평지거주자가 고지환경에 급성적으로 노출하면 iron turnover가 2배 이상 증가하게 되며, 노출 2~3주 만에 최고치를 기록하게 된다(Faura et al., 1969). 급성적인 고지환경에의 노출은 골수를 자극하여 nucleated red blood cell의 증가를 가져오며, 7일 후에는 2배 이상 증가하는데 이러한 현상은 RBC 생성의 가속화 지표로 사용된다(Reynafarje et al., 1959). 따라서 저산소 환경에의 노출은 RBC 생성의 가장 중요한 자극요소라 할 수 있다. 하지만 저산소 환경에의 노출이 혈중산소운반능력에 미치는 영향에 대한 결과는 상반된 내용이 많다.

김기진 등(1994)은 중국 곤명(1,895 m)에서 국내 정상급 남·녀 마라톤 선수를 대상으로 고지훈련 1주 후 RBC, Hb 및 Hct의 유의한 증가를, 정용수 등(1997)은 국가대표 알파인 스키선수를 대상으로 2,100 m에서 생활하고 2,700~3,500 m에서 5주 동안 스키훈련을 실시한 결과, RBC, Hb, Hct가 증가되었음을 보고하였다. 또한 Levine & Stray-Gundersen(1997)은 육상선수를 대상으로 4주간 골수의 철분함량의 감소를 예방하기 위해 철분제를 보충하면서 LHTL을 실시한 후 RBC와 VO₂max의 증가를 통한 경기력 향상을 보고하였으며, Wilber(2001)는 2,000~3,000 m 상당고도의 저산소 조건에서 트레이닝을 실시한 결과 EPO와 RBC가 증가하였음을 보고하였다. 또한 Garcia 등(2000)은 5일간, 1일 2시간씩 3,800 m 고도에 노출시킨 후에, Piel-Aulin 등(1998)은 10일간, 1일 12시간씩, 2,000~2,700 m 고도에 노출시킨 결과 reticulocyte가 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 반면에 선우 섭 등(2005)은 대학 엘리트 농구선수를 대상으로 20일간 연속적으로 3,000 m 상당고도에서, 1일 7시간 수면을 취하는 수동적인 저압·저산소 적응훈련을 시킨 결과, 혈액의 산소운반능력에 변화가 없음을, 박훈영 등(2010)은 중년여성을 대상으로

3,000 m 상당고도에서 10주간, 주 5일, 1시간씩 능동적인 훈련을 실시한 결과 혈중산소운반능력에 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 이를 훈련시간의 부족에 의한 현상으로 보고하였다. Schmidt 등(1990)은 일반인과 운동선수를 대상으로 2,600 m 상당고도에서 훈련 전·후에 Hb과 Hct의 유의한 변화가 나타나지 않은 것을 통하여 2,600 m는 EPO 시스템을 자극하지 못한 것으로 판단하였으며, Robach 등(2006)은 엘리트 수영선수들을 15일간(2,500 m에 5일, 3,000 m에 8일, 1,200 m에 3일) 저산소 노출한 후 EPO가 유의하게 감소되었음을 보고하였다.

본 연구에서는 Levine(2002)이 제시한 바와 같이, 혈중철분농도의 감소로 인한 RBC 생성능력과 VO_{2max} 의 개선이 억제되는 부작용을 줄이기 위해 트레이닝 1개월 전부터 종료 시까지 철분제를 섭취시켰다. 그럼에도 불구하고 실험군과 대조군의 혈중산소운반능력에 유의한 변화가 없었다. 선행연구(Levine et al. 1992; Levine & Stray-Gundersen, 1992; Levine & Stray-Gundersen, 1997)와 비교했을 때 거주고도는 동일하였으며, 훈련고도가 700~1,330 m인 것을 제외하고는 차이가 없음에도 불구하고 혈중철분농도가 감소경향을 나타낸 것은 노출고도 및 기간에 따라 iron turnover를 예방할 수 있다는 적절한 철분섭취방법이 있다는 것을 의미한다. 그러나 Stray-Gundersen & Levine(1999)의 연구와 달리 혈중산소운반능력의 개선 없이 3,000 m와 5,000 m 경기기록이 개선되었다. 이는 Levine & Stray-Gundersen(1992)이 LHTL을 시작한 이래로 주장한 혈액변인의 변화에 따른 혈중산소운반능력과 VO_{2max} 의 변화, 그에 따른 경기력의 변화의 과정 뿐만 아니라 에너지대사, 골격근에서의 산소이용능력, 심장기능과 같은 다른 시스템의 변화를 통해 경기력의 변화를 가져올 수 있다는 것을 의미한다.

2. 장시간 운동 중 에너지대사

고지환경 즉, 저압 및 평압·저산소 환경에 적응하게 되면 O_2 의 전달과 이용능력이 향상되며, 이에 따라 주어진 운동속도에 대한 산소이용의 개념인 RE(running economy)가 향상된다(Young et al., 1982; Mairbaurl et al., 1986; Sutton et al., 1988; Brooks et al., 1992). 향상된 RE에 대한 잠재적인 기전은 O_2 1mole당 재합성할

수 있는 ATP의 양이 증가하는 것과, 주어진 스피드에 있어서 필요한 ATP의 양이 감소하는 복합작용에 의한 것이다(Green et al., 2000). Green 등(2000)은 남성 산악인을 대상으로 21일간, 6,194 m 고소등반 전·후 및 하산 3~4일 후에 에너지소비량에 대한 파워를 산출한 결과 그 비율이 유의하게 상승하였다고 보고하였다. 또한 Gore 등(2001)은 운동선수를 통제군(7명)과 LHTL군(6명, 3,000 m에서 생활하고 6,000 m에서 훈련)으로 나눈 후 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 watt/kg 강도에서 각각 4분씩 최대 하 운동을 실시한 결과, LHTL군에서 buffer capacity가 18%, 에너지 효율성이 0.8% 증가하였고, VO_{2peak} 는 7%, 최대 하 운동 시의 VO_2 는 4.4%가 감소한 것을 통하여 LHTL이 muscle buffer capacity를 증가시키고 운동 시 에너지효율성을 향상시킨다고 보고하였다. 또한 Katayama 등(2003)은 엘리트 육상선수를 6명의 대조군과 4,500 m 상당고도에 3주간, 주 3회, 1회 90분 노출하는 실험군으로 나눈 후, 최대 하 운동 시 RE를 측정된 결과 유의하게 향상되었다고 보고하였다.

이러한 RE 향상에 대한 잠재적인 기전은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 고도에 대한 순응 후 에너지원으로 산화적 인산화를 통한 탄수화물의 사용이 증가하는 것이다. Roberts 등(1996)은 21일 동안의 고지 적응이 안정 시와 50% VO_{2max} 의 자전거 운동 시 지방이용을 감소시킨다고 하였는데, 이는 만성적인 노출이 O_2 1mole당 ATP를 생산하는 효율이 높은 탄수화물 대사를 증가시키고 반대로 지방대사를 감소시킨 때문이다(Saunders et al., 2003). 본 연구에서 이러한 가설은 최대 하 운동 시 실험군에서 트레이닝 후 VO_2 의 감소가 운동 초반 및 중반에서 유의하게 나타났으며, 아울러 혈중젖산농도 또한 대조군에 비해 운동 초반부터 종료 및 회복 시까지 유의하게 감소한 것을 통하여 유산소성 해당과정이 개선된 것을 알 수 있었다. 둘째는 고지 적응에 대한 대사적 적응의 결과로써 일정강도의 최대 하 운동 시 활동근 수축 및 이완에 필요한 미토콘드리아의 산소이용능력이 증가한 때문이다(Green et al., 2000). 본 연구의 경우 골격근 산소화농도는 실험군에서 유의하지는 않지만 골격근에서 O_2Hb 가 증가하고, HHb가 감소한 것을 통하여 미토콘드리아의 산소이용능력이 증가한 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 트레이닝 후 실험군의 혈중젖산농도가 대조군보다 운동시간

전체에서 낮은 것을 통하여 이해할 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 평압·저산소 환경 장치를 이용하여 3,000 m상당고도에 생활하여 700~1,330 m에 훈련을 하는 LHTL이 LT 수준의 강도로 60분 운동 중 RE에 긍정적인 영향을 미치며, 이러한 결과가 혈중산소운반 능력의 변화 없이도 경기력 향상에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3. 장시간 운동 중 골격근 산소화농도

골격근에서 O_2Hb 및 HHb 비율의 변화는 미토콘드리아로의 산소전달의 변화를 가져오게 되고, 이는 골격근의 활동과 수축 시 산소이용능력의 변화를 가져오게 되며, 이는 VO_2 를 반영하게 된다(Kawaguchi et al., 2001). 비침습적인 방법으로 골격근 산소화농도를 측정하는 방법은 1977년 Frans Jobis에 의해 near-infrared spectroscopy (NIRS)라는 장비를 통해 처음 고안되었다. 현재까지 실시된 골격근 산소화농도에 대한 연구는 환기역치와의 관계(Bhambhani et al., 1997), 젖산역치와의 관계(Grassi et al., 1999), VO_2 와의 관계(Kawaguchi et al., 2001)를 제시하고 있는 정도로 본 연구와 같이 트레이닝에 따른 변화를 살펴본 연구는 전무한 실정이다. 이에 관한 연구 결과를 살펴보면, Bhambhani 등(1997)은 2분당 30 watt씩 증가시키는 자전거 운동 시 HHb 가 급격히 변화하는 시점과 조직의 산소요구량과 공급량의 불균형이 나타나는 시점인 환기역치 사이에 유의한 양의 상관관계가 나타난다고 주장하였다. 또한 Grassi 등(1999)은 5명의 전문산악인을 대상으로 4분당 30 watt씩 증가하는 자전거 운동 시 60~65% VO_{2peak} 사이에 TOI의 급격한 감소와 젖산의 급격한 축적이 나타나 활동근의 급격한 탈산화 시점과 젖산 축적시점 간에 유의한 양의 상관관계를 나타낸다고 보고하였다. 그리고 Kawaguchi(2001)은 30 watt/min 자전거 운동 시 운동강도가 증가할수록 $oxyHb$ /total Hb의 개념인 % StO_2 와 O_2Hb 가 감소하고 HHb 가 증가하는 것을 통하여 % StO_2 와 O_2Hb 는 VO_2 와 부의 상관관계를, HHb 는 양의 상관관계를 갖게 되며, 이는 근육에서의 산소화농도가 VO_2 를 반영한다고 주장하였다. 아울러 Kawaguchi 등(2006)은 8명의 건강한 남성을 대상으로 50% VO_{2max} 로 60분간 운동을 실시한 결과, 운동 초기에는 마이오글로빈에 대한 O_2Hb 비

율, 마이오글로빈에 대한 총 헤모글로빈 비율이 유의하게 감소하였으나 마이오글로빈에 대한 HHb 비율은 변화가 없다고 보고하였다. 또한 운동 40분 이후에는 이러한 경향이 더욱 더 유의하게 나타났으며, 동정맥산소차($a-vO_2diff$)가 크게 증가하여 VO_2 가 유의하게 증가하였으나 골격근 산소화농도 관련 변인과 VO_2 간의 유의한 상관관계는 나타나지 않았다고 보고하였다.

본 연구에서는 트레이닝 전·후에 LT 수준의 강도로 30분간 자전거 운동을 실시한 결과 유의하지는 않지만 O_2Hb 와 TOI는 증가하는 경향을, HHb 는 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 앞서 말한 바와 같이 고지 및 저압·저산소 환경에 의한 대사적 적응으로 동일강도 운동 시 활동근의 수축과 이완에 필요한 미토콘드리아의 산소이용능력이 증가된 결과로 사료된다(Green et al., 2000). 이러한 결과는 본 연구에서 실시한 3,000 m 상당고도에서 거주하고 700~1,330 m 고지환경에서 훈련을 실시하는 LHTL이 혈중산소운반능력변인의 증가가 없어도 골격근에서의 산소이용능력이 증가시켜 경기력을 향상시킬 수 있다는 것을 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 LHTL이 미토콘드리아에서의 산소이용능력을 활성화시켜 골격근 산소화농도에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

4. 장시간 운동 중 심장기능

일반적인 LHTL의 특징은 고지 또는 저압 및 평압·저산소 환경에의 거주를 통해 혈액과 조직의 산소운반능력을 향상시키고 아울러 낮은 고도에서 고강도의 트레이닝을 할 수 있게 하여 운동수행능력을 효율적으로 향상시키는 것이다(Numela et al., 1996; Puranen & Rusko, 1996). 유산소성 운동능력을 구성하는 가장 중요한 생리적인 요인인 산소운반능력은 심장기능에 많은 영향을 받는다(Grover et al., 1976). LHTL은 심장근 β -adrenergic receptor의 활성을 통해 부교감신경을 자극하여 에너지이용률을 높이고, 좌심실 수축력을 개선하여 SV를 향상시킨다(Liu et al., 1998). 저산소 환경에 따른 심장기능의 변화에 대한 연구를 살펴보면, Fowles & Hultgen(1983)은 3,353~5,365 m 환경에 6주간 노출한 후 나타나는 심혈관계의 변화는 preload의 감소와 연관이 있다고 보고하였으며, Li 등(1996)은 β_1 -adrenergic receptor에 대한 만성적

인 저산소 효과를 알아보기 위해 72시간 동안 1%의 저산소에 노출시킨 후 쥐의 심장근에서 $\beta 1$ -adrenergic receptor의 mRNA와 밀도가 증가하였으며, 이는 좌심실의 수축력을 향상시킨다고 보고하였다. 또한 Liu 등(1998)은 2주간 1,980 m에서 1일 12시간 이상 생활하고 평지에서 트레이닝을 실시하는 LHTL 후 SV, CO가 증가하였다고 보고하였으며, 이는 심장근의 β -adrenergic receptor의 활성화 또는 심장근의 에너지이용률 향상에 따른 좌심실 수축력 증가에 의한 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 LHTL 후에 대조군에 비해 실험군에서 운동 중 HR 감소 및 SV 증가가 유의하게 나타났다. 그러나 EDV는 두 그룹 모두 트레이닝 전·후에 같은 경향을 나타냈다. 따라서 실험군에서 나타난 SV의 증가는 ESV의 변화 즉, 대조군에서는 실험군과는 달리 트레이닝 후 좌심실 수축력이 오히려 유의하게 낮아지는 경향을 보였고, 실험군은 트레이닝 전·후 거의 차이를 나타내지 않아 EDV가 증가한 만큼 SV가 증가한 것으로 생각할 수 있다. 또한 EDV의 증가는 모든 그룹에서 나타났는데, 이는 정맥환류량의 증가와 좌심실 용적이 증가한 때문으로 생각할 수 있다. 따라서 700~1,330 m 정도의 낮은 고도에서 4주간의 지구성 트레이닝은 EDV를 개선시키는 것을 알 수 있었다. 한편 SV 및 EDV의 증가와 ESV의 감소는 Li 등(1996), Liu 등(1998)의 연구에서 주장한 것과 같이 β -adrenergic receptor의 활성화 및 심장근의 에너지이용률 증가를 통한 좌심실 수축 개선에 의한 현상으로 볼 수 있으며, 본 연구의 결과는 기존의 선행연구와 일치하였다. 운동 중 HR은 Liu 등(1998)의 연구와 달리 실험군은 대조군에 비해 감소하는 경향이 나타났으나 HR과 SV의 상쇄현상에 의해 CO는 변화하지 않았다. 이러한 차이는 본 연구가 3,000 m 상당 고도의 저산소 환경에서 거주하고 700~1,330 m 고지환경에서 트레이닝을 실시하는 4주간의 LHTL을 실시한 것에 비해 Liu 등(1998)은 1,980 m의 고지환경에서 생활하여 평지에서 트레이닝을 실시하는 2주간의 LHTL를 실시하여 적응기간과 노출고도 및 트레이닝 고도의 차이에 의한 것으로 사료된다. 또한 본 연구의 운동 시 HR의 감소는 LHTL에 따른 $\alpha 2$ -adrenergic receptor의 활성화 교감신경의 활성을 감소시키고 부교감신경의 활성을 증가시켜 나타나는 현상으로 사료된다. 따라서 본 연구의 3,000 m 상당고도에서 생활하고 700~1,330 m 고지환경

에서 훈련을 실시하는 LHTL 방법은 LT수준의 장시간 자전거 운동 시 HR을 감소시켜 심근의 산소소비량을 절약하고, 아울러 좌심실용적과 정맥환류량 등의 개선으로 EDV를 증가시키고 또한 좌심실 수축속도를 개선시켜서 SV 증가에 유익한 영향을 발생시키는 것을 알 수 있었다.

5. Time trial

LHTL은 고지에서의 작업수행능력 향상, 폐포환기량의 증가와 혼합정맥혈의 산소포화도 감소(Sutton et al., 1988), 탄수화물과 지질의 기질이용변화(Brooks et al., 1992)를 통한 최대 하 운동 중 젖산과 암모니아의 축적 감소(Wolfel et al., 1991) 및 근 글리코겐 절약 효과(Young et al., 1982)를 바탕으로 한 최대 하 운동수행능력의 향상과 같은 고지 적응 효과와 트레이닝 강도의 질적 개선과 같은 낮은 고도에서 트레이닝 할 때 얻을 수 있는 효과를 모두 얻을 수 있는 방법이다(Stray-Gundersen & Levine, 1997; Stray-Gundersen et al., 2001). LHTL과 관련된 선행연구들은 혈중산소운반능력 향상에 따른 VO_{2max} 의 증가와 그에 따른 경기력 향상을 기대하고 있다(Vogt & Hoppeler, 2010). 이와 관련된 연구를 살펴보면, Stray-Gundersen & Levine(1997)은 피험자를 LHTL, LHTH, LLTL 세 그룹으로 나눠 트레이닝을 실시한 결과 LHTL 및 LHTH 그룹에서 RBC와 VO_{2max} 는 증가하였으나 5,000 m 경기기록은 LHTL에서만 1.3% 향상되었다고 보고하면서 그 이유를 LHTL 그룹의 anaerobic capacity 증가로 해석하였다. Stray-Gundersen 등(2001)은 육상선수를 대상으로 2,500m 고지에서 생활하고 1,250 m에서 운동을 실시하는 LHTL을 실시한 결과, VO_{2max} 3% 증가, EPO 2배 증가, 3,000 m 기록 1.1% 향상 그리고 대상자의 1/3이 개인최고기록을 경신한 것을 통해 LHTL이 혈중산소운반능력 및 경기력을 향상시킨다고 주장하였다.

본 연구에서는 기존의 선행연구와 달리 LHTL을 실시한 실험군의 경우 대조군에 비해 3,000 및 5,000 m 기록 향상이 큰 경향을 나타냈으나 혈중산소운반능력 변인의 변화는 나타나지 않았다. 이는 경기력을 향상시키는 원인이 혈중산소운반능력 뿐만 아니라 다양한 원인이 있다는 것을 의미한다. 아울러 본 연구의 실험

군에서 나타난 경기기록의 향상은 O_2Hb 의 증가와 HHb 의 감소에 따른 미토콘드리아의 산소이용능력 증가 및 RE의 향상과 함께 SV 및 EDV의 증가에 따른 심장근의 산소운반능력이 향상된 결과로 사료되어진다. 또한 본 연구의 결과는 선행연구(Stray-Gundersen & Levine, 1997; Stray-Gundersen et al., 2001)에서 제시된 훈련고도보다 낮은 700~1,330 m 고도에서 나타난 것으로, 국내에서도 사전 철분제 섭취와 일일 컨디션 검사결과를 통한 훈련 프로그램 작성, 1일 16시간 3,000 m 상당고도에의 노출 등을 포함한 LHTL은 미토콘드리아의 산소이용능력 증가, 장시간 운동 시 RE 및 심장기능의 향상과 경기력을 향상시킬 수 있다는 가능성을 제시한 것이다. 따라서 추후 다양한 엘리트 선수를 대상으로 국내의 낮은 고지대 지역(700~1,330 m)에 저산소 거주환경을 조성한 후 LHTL이 경기력 향상에 미치는 영향을 검토해야 할 것이다.

V. 결론

대학 및 고교 육상 중·장거리선수 20명을 대상으로 LLTL 대조군과 LHTL 실험군으로 나누어 1,000 m 고지에 3,000m 상당고도의 저산소실을 설치한 후 4주간, 1일 16시간 이상 저산소실에 거주하고 700~1,330 m 고지에서 1일 4시간 트레이닝을 실시한 전·후 유산소성 운동능력과 경기력에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 혈중산소운반능력 및 철분농도는 두 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

둘째, 트레드밀 장시간 운동 시 에너지 대사에 있어서 실험군은 대조군과 비교해 HR, VO_2 및 젖산이 낮게 나타나 LHTL이 RE를 개선시킨다는 것을 알 수 있었다.

셋째, 자전거 장시간 운동 시 대퇴부위 산소화농도는 대조군과 비해 O_2Hb 와 TOI는 증가 경향을, HHb 는 감소 경향을 나타내 LHTL이 골격근의 산소이용능력을 향상시키는 가능성이 제기되었다.

넷째, 자전거 장시간 운동 시 심장기능에 있어서 실험군은 대조군과 비교해 HR은 낮게, SV는 높게 나타내 LHTL이 심장근의 산소운반능력을 개선시키는 것을 알 수 있었다.

다섯째, 3,000 m와 5,000 m time trial은 두 그룹 모두 개선되었으나 실험군은 대조군과 비교해 3,000 m와 5,000 m 모두에서 보다 더 향상되었다.

이러한 결과를 통해 본 연구에서의 LHTL이 전신 및 국소적인 장시간 운동 시 RE와 심장기능을 향상시켜 장거리 경기기록을 개선시키는 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다. 추후 육상 엘리트 선수를 포함하여 다양한 지구성 경기자를 대상으로 국내 고지환경(1,000m 전·후)에 저산소 발생장치를 설치한 후 LHTL의 다양한 생리적인 효과를 확인하여 효율적인 LHTL 프로그램을 개발해야 할 것이다.

참고문헌

- 김기진, 진장욱, 임상규(1994). 3주간 1,896 m 고지훈련이 여자마라톤 선수의 심폐기능에 미치는 효과. *대한스포츠의학지*, 12(3): 327-343.
- 김진해, 김창근, 정용수(1998). 고지에서의 트레이닝이 유·무산소 능력에 있어서 한국 주니어 알파인 스키 선수들에게 미치는 영향. *한국체육학회지*, 37(4): 360-368.
- 남상석, 박훈영, 문황운, 선우 섭(2007). 점증형 및 고정형 저압·저산소 환경에서 단기간의 간헐적인 훈련이 혈액성분 및 유산소성 운동능력에 미치는 영향. *운동과학*, 16: 383-392.
- 박훈영, 남상석, 김승환, 김명진, 선우 섭(2010). 평압·저산소 환경에서 10주간의 유산소성 트레이닝이 신체성분, 혈액성분 및 혈관탄성에 미치는 영향. *운동영양학회지*, 14(1): 7-16.
- 서재명, 김창근, 김진해, 정용수(1995). 고지 훈련이 국가대표 남녀 알파인 스키선수들의 유·무산소 대사 능력에 미치는 영향. *한국체육대학교 체육과학논문집*, 14(1): 157-167.
- 선우 섭(2006). 2005년도 삼성전자육상단 트랙, 마라톤, 경보팀 저압·저산소 및 곤명 고지훈련 보고서. 미간행 자료.
- 선우 섭, 김현국, 황경식(2005). 저압·저산소 노출이 대학

- 농구선수의 심폐기능 및 혈중산소운반 능력에 미치는 영향. *운동영양학회지*, 9(1): 23-33.
- 선우 섭, 노호성, 남상석, 황경식, 박훈영, 이은주(2007). 3,000 m 상당고도에서의 간헐적인 저압 저산소 훈련이 청소년 편수영 선수들의 유산소성 운동능력에 미치는 영향. *한국발육발달학회지*, 15: 241-249.
- 이은주, 선우 섭(2006). 단기간의 서로 다른 형태의 저압·저산소 훈련이 유산소성 운동능력과 혈액성분에 미치는 영향 및 ACE 유전자 다형성과 고지에서의 운동수행능력과의 관계. *운동영양학회지*, 10(2): 153-161.
- 정용수, 김지해, 김창근(1997). 해수면과 고지훈련이 국가대표 알파인 스키선수들의 무산소 대사능력 및 혈액성분에 미치는 영향. *한국체육학회지*, 36(2): 225-234.
- 浅野勝己, 小林寛道 編集(2004). *高所トレーニングの科学*. 杏林書院, pp.31-41.
- Bhambhani, Y. N., Buckley S. M., & Suzuki, T. (1997). Detection of ventilatory threshold using near infrared spectroscopy in men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29: 402-439.
- Birkeland, K. I., Stray-Gundersen, J., Hemmersbach, P., Hallen, J., Haug, E., & Bhar, R. (2000). Effect of rhEPO administration on serum levels of sTfR and cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: 1238-1243.
- Brooks, G. A., Wolfel, E. E., Groves, B. M., Bender, P. R., Butterfield, G. E., Cymerman, A., Mazzeo, R. S., Sutton, J. R., Wolfe, R. R., & Reeves, J. T. (1992). Muscle accounts for glucose disposal but not blood lactate appearance during exercise after acclimatization to 4,300 m. *J. Appl. Physiol.*, 72(6): 2435-2445.
- Brugniaux, J. V., Schmitt, L., Robach, P., Jeanvoline, H., Zimmermann, H., Nicolet, G., Duvallet, A., Fouillot, J. P., & Richalet, J. P. (2006). Living high-training low: tolerance and acclimatization in elite endurance athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96: 66-77.
- Eklom, B., & Burglund, B. (1991). Effect of erythropoietin administration on maximal aerobic power. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 1: 88-93.
- Faura J., Ramos J., Reynafarje C., English E., Finne P., & Finch C. A. (1969). Effect of altitude on erythropoiesis. *Blood.*, 33: 668-676.
- Fisher, W., & Raas, E. (1986). Beneficial effects of exercise at moderate altitude on red cell oxygen transporting and on exercise performance. *Pflügers Arch.*, 406: 594-599.
- Fowles, R. E., & Hultgen, H. N. (1983). Left ventricular function at high altitude examined by systolic time intervals and M-mode echocardiography. *Am. J. Cardiol.*, 52: 862-866.
- Garcia, N., Hopkins, S. R., & Powell, F. L. (2000). Intermittent vs continuous hypoxia: effects on ventilation and erythropoiesis in humans. *Wilderness Environ. Med.*, 11: 172-179.
- Gore, C. J., Hahn, A. G., Aughey, R. J., Martin, D. T., Ashenden, M. J., Clark, S. A., Garnham, A. P., Roberts, A. D., Slater, G. J., & McKenna, M. J. (2001). Live high-train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta. Physiol. Scand.*, 173(3): 275-286.
- Grassi, B., Quaresima, V., Marconi, C., Ferrari, M., & Cerretelli, P. (1999). Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *J. Appl. Physiol.*, 87: 348-355.
- Green, H. J., Roy, B., Grant, S., Hughson, R., Burnett, M., Otto, C., Pipe, A., McKenzie, D., &

- Johnson, M. (2000). Increase in submaximal cycling efficiency mediated by altitude acclimatization. *J. Appl. Physiol.*, 89: 1189-1197.
- Grover, R. F., Reeves, J. T., Maher, J. T., McCullough, R. E., Cruz, J. C., & Cymerman, A. (1976). Maintained stroke volume but impaired arterial oxygenation in man at high altitude with supplemental CO₂. *Circ. Res.*, 38: 391-396.
- Hoppeler, H., & Vogt, M. (2001). Muscle tissue adaptations to hypoxia. *J. Exp. Biol.*, 204: 3133-3139.
- Katayama, K., Matsuo, M., Ishida, K., Mori, S., & Miyamura, M. (2003). Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal efficiency. *High Alt. Med. Biol.*, 4: 291-304.
- Kawaguchi, K., Hayashi, Y., Sekikawa, K., Tabusadani, M., Inamizu, T., Onari, K., & Bhambhani, Y. (2006). Vastus lateralis oxygenation during prolonged cycling in healthy males. *Nut. Metab. Appl. Physiol.*, 31: 48-55.
- Kawaguchi, K., Tabusadani, M., Sekikawa, K., Hayashi, Y., & Onari, K. (2001). Do the kinetics of peripheral muscle oxygenation reflect systemic oxygen intake? *Eur. J. Appl. Physiol.*, 84: 158-161.
- Levine, B. D. (2002). Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Alt. Med. Biol.*, 3: 177-193.
- Levine, B. D. & Stray-Gundersen, J. (1992). A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Intl. J. Sport Med.* 13: S209-S212.
- Levine, B. D., Stray-Gundersen, J., & Duhaime, G. (1992). Living high-training low: the effects of altitude acclimatization normoxic training in trained runner. *Med., Sci. Sports Exerc.*, 23(4): S25.
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). Living high-training low: the effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol.*, 83(1): 102-112.
- Li, H. T., Honbo, N. Y., & Karliner, J. S. (1996). Chronic hypoxia increases beta 1-adrenergic receptor mRNA and density but not signaling in neonatal rat cardiac myocytes. *Circulation*, 94: 3303-3310.
- Liu, Y., Steinaker, M., Dehnert, C., Menold, E., Baur, S., Lormes, W., & Lehmann, M. (1998). Effects of "living high training low" on the cardiac functions at sea level. *Int. J. Sports Med.*, 19: 380-384.
- Lundby, C., Nielsen, T. K., Dela, F., & Damsgaard, R. (2005). The influence of intermittent altitude exposure to 4100m on exercise capacity and blood variables. *Scand J. Med. Sci. Sports.*, 15(3): 182-187.
- Mairbaur, H., Schobersberger, W., Humpeler, E., Hasibeder, W., Fisher, W., & Raas, E. (1986). Beneficial effects of exercise at moderate altitude on red cell oxygen transporting and on exercise performance. *Pflügers Arch.*, 406: 594-599.
- Numela, A., Jouste, P., & Rusko, H. (1996). Effect of living high and training low on sea level anaerobic performance in runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28: S124.
- Paula, P. & Niebauer, J. (2010). Effects of high altitude training on exercise capacity: fact or myth. *Sleep Breath.*, 10: 100-107.

- Piehl Aulin, K., Svedenhag, J., Wide, L., Berglund, B., & Saltin, B. (1998). Short-term intermittent normobaric hypoxia-hematological, physiological and mental effects. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 8: 132-137.
- Puranen, A. S., & Rusko, H. (1996). On- and off-responses of EPO, reticulocytes, 2,3-DPG and plasma volume to living high training low. *Med. Sci. Sports Med.*, 28: S159.
- Reynafarje, C., Lozano, R., & Valdivieso, J. (1959). The polycythemia of high altitudes: iron metabolism and related aspects. *Blood.*, 14: 433-455.
- Robach, P., Schmitt, L., Brugniaux, J. V., Roels, B., Millet, G., Hellard, P., Nicolet, G., Duvallet, A., Fouillot, J. P., Moutereau, S., Lasne, F., Pialoux, V., Olsen, N. V., & Richalet, J. P. (2006). Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96: 423-433.
- Roberts, A. C., Butterfield, G. E., Cymerman, A., Reeves, J. T., Wolfel, E. E., & Brooks, G. A. (1996). Acclimatization to 4,300m altitude decreases reliance on fat as a substrate. *J. Appl. Physiol.*, 81: 1762-1771.
- Sandinford, S. D., Green, H. J., Duhamel, T. A., Perco, J. G., Schertzer, J. D., & Ouyang, J. (2005). Inactivation of human muscle $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ in vitro during prolonged exercise is increased with hypoxia. *J. Appl. Physiol.*, 96: 1764-1775.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Cunningham, R. B., Gore, C. J., Hahn, A. G., & Hawley, J. A. (2003). Improved running economy in elite runners after 20days of simulated moderate altitude exposure. *J. Appl. Physiol.*, 96: 931-937.
- Schmidt, W., Dahner, H. W., Correa, R., Ramirez, R., Rojas, J., & Boning, D. (1990). Blood gas transport properties in endurance-trained athletes living at different altitudes. *Int. J. Sports Med.*, 11: 15-21.
- Semenza, G. L. (2000). HIF-1: mediator of physiological and pathophysiological responses to hypoxia. *J. Appl. Physiol.*, 88: 1474-1480.
- Semenza, G. L. (2001). HIF-1 and mechanism of hypoxia sensing. *Curr. Opin. Cell Biol.*, 13(2): 167-171.
- Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (1997). "Living high-training high and low" is equivalent to "living high-training low" for sea level performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29: S136.
- Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (1999). Effect of altitude training on runners' skeletal muscle. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31: S182.
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F., & Levine, B. D. (2001). "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J. Appl. Physiol.*, 91(3): 1113-1120.
- Sutton, J. R., Reeves, J. T., Wagner, P. D., Groves, B. M., Cymerman, A., Malconian, M. K., Rock, P. B., Young, P. M., Walter, S. D., & Houston, C. S. (1988). Operation Everest II: oxygen transport during exercise at extreme simulated altitude. *J. Appl. Physiol.*, 64(4): 1309-1321.
- Vogt, M., & Hoppeler, H. (2010). Is hypoxia training good for muscles and exercise performance? *Progress in Cardiovascular Diseases.* 52: 525-533.

- Wilber, R. L. (2001). Currents trends in altitude training. *Sports Med.*, 31(4): 249-265.
- Wolfel, E. E., Groves, B. M., Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Mazzeo, R. S., Moore, L. G., Sutton, J. R., Bender, P. R., Dahms, T. E., McCullough, R. E., Huang, S. Y., Sun, S. F., Grover, R. F., Hultgren, H. N., & Reeves, J. T. (1991). Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. *J. Appl. Physiol.*, 70(3): 1129-1136.
- Young, A. J., Evans, W. J., Cymerman, A., Pandolf, K. B., Knapik, J. J., & Maher, J. T. (1982). Sparing effect of chronic high-altitude exposure on muscle glycogen utilization. *J. Appl. Physiol.*, 52: 857-862.

KCI

논문투고일 : 2011. 08. 31
심사일 : 2011. 09. 07
심사완료일 : 2011. 11. 06