

급성 저압·저산소 노출에서의 유산소성 운동이 면역기능 및 호흡기계에 미치는 영향

이 동 준*

명지대학교 체육학부

Received May 21, 2009 / Accepted June 10, 2009

The Influences of Immune Function and Respiratory System on Aerobic Exercise by Exposed Acute Hypobaric Hypoxic Environment. Lee, Dong-Jun*. *Department of Physical education, Sport and Leisure Studies, Myongji University, Yongin City, Gyeonggi-do, 449-728 Korea* - The purpose of this study was to investigate the influences of immune function and respiratory system on aerobic exercise of 75 %HRmax intensity in an exposed acute hypobaric hypoxic environment. The subjects were 20 male college students, 10 of which were soccer players (19.6±0.8 yr, BMI 22.3±1.0, VO_{2max} 56.5±4.8 ml/kg/min) and 10 general students (22.2±2.3 yr, BMI 22.7±2.1, VO_{2max} 50.5±6.6 ml/kg/min). Items of measurement after exercise on level and high altitude were O₂, CO₂, ventilation (VE), respiratory frequency, respiratory quotient, RBC, MCV, MCH, MCHC, Hb, Hct, reticulocyte, WBC, neutrophil, lymphocyte, monocyte, basophil, and immunoglobulin (IgA, IgD, IgG, IgM). As the result of the verifying hypothesis, these results may suggest three new findings: first, to produce hypoxic ventilatory depression not only at level land but also at 3,000 m high altitude during 30 minute aerobics exercise of 75 %HRmax intensity, second to be more excellent for soccer players in adaptation and sensibility on response of respiratory system at high altitude, and third, to change each other by regular exercise habits or altitude in the monocyte.

Key words : Acute hypobaric hypoxic environment, immune function, respiratory system, aerobic exercise

서 론

고지대(altitude)에서의 경기력(트레이닝)에 관심을 보이기 시작한 것은 1960년 로마올림픽에서 에티오피아출신의 아베베 선수가 맨발로 마라톤을 우승하여 고지에 거주하는 민족의 심폐지구성 능력이 우수하다는 것을 입증하면서 부터이며, 1968년 멕시코 올림픽이 해발 2,340 m의 멕시코시티에서 개최되면서부터 더욱 관심을 많이 갖게 되었다. 우리나라의 경우, 1998년 강원도 태백시에 해발 1,330 m인 위치에 태백선수촌을 건립하여 고지트레이닝의 첫 발을 내디뎠으나 태백선수촌의 훈련성과에 대한 검토는 거의 없는 실정이다.

고지대에서의 공기 압력은 감소되어 저압상태(hypobaric condition)를 형성하며, 낮은 기압에서는 산소분압(PO₂) 또한 낮아져 결국 저압·저산소 환경(hypobaric hypoxic environment)을 형성한다. 그로인해 신체조직으로의 산소 운반 및 폐의 확산은 저하되며[27], 이러한 환경에 노출이 되면 특이적인 생체학적 적응 변화인 고지순응(altitudinal adaptation)을 일으키게 된다. 특히 이러한 생물학적인 적응변화를 일으키는 고지대라고 하면 해발 1,500 m (4921 ft)를 지칭하는 높이를 말하며[30], 일본에서는 해발 1,800~2,000 m 이상의 고지(고소)환경을 이용한 트레이닝을 고지(고소)트레이닝이라

고 칭하고 있다. 그리고 Berguland 등(1992)은 해발 1,800~2,500 m 정도의 범위가 고지트레이닝을 하기에 적절하다고 보고했다[1].

트레이닝을 통한 고지에서의 생체학적 반응이라고 하면 심폐기능 및 대사기능의 저하가 주된 내용이라고 할 수 있겠다. 특히 호흡수(폐환기)의 증가, 최대 운동 시 산소 운반의 제한에 따른 최대산소섭취량 및 심박출량의 감소, 무산소성 대사의 증가 등이 나타난다. 따라서 평지보다는 고지에서의 환경이 선수들의 트레이닝에서 환경적 스트레스(부하)로 간주되면서 심폐기능의 향상에 도움을 준다고 사료되어 왔다.

우리나라 연구진에 의한 고지환경 및 고지시뮬레이션(저압·저산소환경, 산소분압 조절장치)에서의 적응능력과 관련된 선행연구는 다수 보고된 바가 있다[9-11,14,15,23,31].

구체적으로, 일정기간의 고지 트레이닝의 적응 후 생체적응 반응으로써는 평지에서의 산소운반 능력 증가(적혈구수 및 헤모글로빈농도의 증가, 근육마이오글로빈 증가, 미토콘드리아 관련 효소활성도 증가)를 통해 심폐기능의 향상을 가져오며[4,5,12,25,17], 또한 호흡기계의 적응변화로써는 폐활량의 잔류용적의 발달[3,28], 폐확산 제한[2] 및 폐환기 불균형[7]의 변화가 주요 대상이었다. 고지대에서 안정 시 환기량은 완전히 적응이 되더라도 해수면에서의 수치로는 회복되지 않으며, 운동 시에는 운동량과 고도의 상승에 비례하여 환기량은 증가하나 극단적인 고지에서는 환기량이 감소한다고 보고하고 있다[29].

*Corresponding author

Tel : +82-31-330-6308, Fax : +82-31-330-6298

E-mail : ldj0719@mju.ac.kr

다른 측면의 생체변화로써, 인간에 있어서 면역기능은 다양한 외적 환경자극에 의해서 변화하여 내분비호르몬이나 면역물질의 농도를 증가 또는 감소시키는 것으로 알려져 왔다[13]. AT (anaerobic threshold; 무산소성 작업역치)수준을 상회하는 30분 이상의 운동강도에서는 면역기능은 감소하며[8], 반면 장·단 시간의 최대하 운동에서는 혈중NK-세포가 증가한다는 보고도 있다[20]. 관련해서 고지환경에서는 약한 강도의 운동스트레스가 면역반응을 향상시키고, 장시간 운동스트레스가 강해지면 그 효과가 감소된다고 보고하였으며, 에베레스트 등반의 검토에서는 높은 극고도에서 T-세포의 활성이 약화된다고 보고하였다[19].

상기의 선행연구들은 어느 일정(장·단기)기간에 고지환경 또는 시뮬레이션에 의해 생체학적 변화를 검토한 반면에 급성적인 고지 환경 노출에 의한 유산소성 운동 후의 호흡기계 및 면역기능의 적응변화에 대해 검토한 연구는 거의 발표되어 지지 않은 실정이다. 또한 일반 대학생과 운동선수를 비교하여 유산소적 능력 차이에 따른 고지환경에 적응하는 능력의 차이를 검토하는데 본 연구에 의의가 있다.

따라서 본 연구에서는 일반 대학생과 운동 습관을 갖은 축구선수들을 대상으로 급성적인 저압·저산소 환경에의 노출과 일정강도에서 운동 후의 호흡기계 및 면역기능의 변화를 검토하여, 고지에서의 산소의 운반 능력과 면역 반응을 검토하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

연구 대상

본 연구의 대상자는 남자 일반대학생 10명과 현역 대학교 축구선수 10명으로 총 20명으로 하였다. 본 실험에 앞서 연구의 목적과 내용을 설명하고 실험에 자의적 참가에 대한 동의를 받았다. 연구 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

실험 설계

본 연구는 하기와 같이 실험설계를 구성하였다.

Table 1. Characteristics of the subjects

	Control group (n=10)	Soccer player (n=10)	P
Age (yr)	22.2±2.3	19.6±0.8	0.005
Height (cm)	175.4±5.7	177.2±4.7	0.446
Weight (kg)	70.2±9.0	70.1±5.2	0.978
BMI (kg/m ²)	22.7±2.1	22.3±1.0	0.568
Fat Mass (kg)	9.4±2.2	9.4±1.3	0.990
%Fat (%)	13.3±2.2	13.4±1.6	0.891
LBM (kg)	57.7±7.3	57.5±4.6	0.937
VO _{2max} (ml/kg/min)	50.5±6.6	56.5±4.8	0.032

Mean±SD.

BMI: body mass index, LBM: lean body mass, VO_{2max}: maximal oxygen uptake.

1) 평지에서 30분간 유산소성 자전거 운동(호흡기계 측정): 그룹(일반대학생, 축구선수)과 시기(안정, 10분, 20분, 30분)

2) 3,000 m 고도에서 30분간 유산소성 자전거 운동(호흡기계 측정): 그룹(일반대학생, 축구선수)과 시기(안정, 10분, 20분, 30분)

3) 30분간 유산소성 자전거 운동(혈액 검사를 통한 면역기능의 반응): 그룹(일반대학생, 축구선수)과 시기(평지에서의 운동전·후 채혈)·고도(3,000 m에서 운동 후 채혈)

측정 항목 및 방법

신장 및 신체조성

신장의 측정 자세는 허리를 곧게 편 상태에서 턱을 당겨 시선이 수평이 되게 하여 발뒤꿈치의 바닥 면에서 머리의 정수리부분까지의 수직 길이를 측정하여 0.1 cm 단위로 측정했다(YM-1, KDS, Korea).

신체조성의 BIA (bioelectrical impedance analysis)를 이용하여 체중, 체지방량, 체지방률, 수분량 등을 측정 후, 몸의 컨디션 등을 문진하였다. 또한 측정상의 신뢰성 높이기 위해 측정 3~4시간 전부터는 식음료를 섭취하지 않고, 공복상태에서 소변을 보도록 유도하였다(Inbody 3.0, Biospace, Korea).

점중운동부하테스트(Grade exercise test: GXT)

대상자들의 호흡기능력인 심폐지구력을 확인하기 위해 최대산소섭취량(maximal oxygen uptake: VO_{2max})을 측정하였다. 측정에는 자동가스호흡분석기인 V_{max} 229 (Sensormedics, USA)와 트레드밀(Sensormedics, USA)를 사용하였다. 운동부하의 프로토콜은 3.6 km/hr (경사도 0%)에서 시작하여 매 2분마다 20 m/min 씩(경사도 1%)증가하는 프로토콜(축구선수) 및 Bruce 프로토콜(일반대학생)을 사용하였다. 측정의 신뢰성을 높이기 위해 분석기를 충분히 예비가동을 시킨 후 호흡감도와 가스센서의 보정작업을 실시하였다. 구강으로 호흡하는 breath by breath로 측정이 시작되면 가스호흡분석기에는 분당 산소섭취량(oxygen uptake: VO₂), 이산화탄소배출량(carbon dioxide output: CO₂), 환기량(volume of expired gas: VE), 호흡수(respiratory frequency rate: RR), 호흡상(respiratory quotient: RQ), METS (metabolic equivalents) 등이 계산되어진다.

안전성을 확보하기 위한 순환기계의 반응 및 강도설정을 위해 운동부하 중의 가슴부위에 측정기기를 착용하고 심박수를 매분 측정하였다(Polar S601i, Finland).

30분간 유산소성 운동수행 능력

자전거에르고미터(Combi 75KL II, Japan)를 이용하여 30간의 유산소성을 실시하면서 호흡가스(상기 GXT시의 분석 항목과 동일)를 측정하였다. 운동의 강도는 점중운동부하시의 최대심박수를 이용 75%수준을 채택하였다(75 %HRmax). 이 운동수행능력은 평지 대기압 및 정상 산소농도 수준과, 해발 3,000 m 상당의 고도조건에서 두 그룹 모두 실시하였다.

저압·저산소 환경장치(Hypobaric·Normobaric Hypoxic Chamber)

고지대의 환경조건은 저압·저산소의 고도조성을 위하여 저압·평압 저산소 챔버(Submersible system technology, USA)를 이용하였고 이 챔버는 20인용, 최대 6,000 m 상당의 고도까지 분압 및 산소 농도의 조절, 온도(7~40°C), 습도(40~80%)의 조절이 가능하여, 본 연구에서는 해발 3,000 m의 고도조건(526 mmHg, 14.5%의 O₂농도)에서 실시하였으며, 본 연구의 실험 중의 온도와 습도는 각각 20±2°C와 60±2%로 고정하였다.

면역기능의 반응을 위한 혈액 검사

혈액 검사를 위해 검사 전일부터 9시간 이상의 금식을 시행하였으며, 측정 2시간 전부터는 음료수도 제한 시켰다. 혈액은 전완 정중정맥에서 약 7~8 ml 정도의 양을 채취하여 약 3~4 ml를 항응고제(헤파린)로 처리된 튜브(EDTA tube)에 넣어 냉장 보관하여, 적혈구(red blood cell: RBC), MCV (평균 적혈구 용적), MCH (평균 적혈구 혈색소량), MCHC (평균 적혈구 혈색소농도), 헤모글로빈(hemoglobin: Hb), 헤마토크리트(hematocrit: Hct), 망상적혈구(reticulocyte), 백혈구(white blood cell: WBC), 호중구(neutrophil), 림프구(lymphocyte), 단구(monocyte), 호염기구(basophil)의 분석에 사용하였다.

나머지 약 3~4 ml는 면역글로블린(IgA, IgD, IgG, IgM)를 검사하기 위하여 응고촉진제(silica particles) 및 gel로 구성된 일반 화학검사용 튜브(Serum Separating Tube)에 넣어 실온에서 20분 정도 응고시킨 후, 3,000 rpm으로 10분간 원심 분리하여 혈청(serum)만을 약 1 ml 이상 수집하여 바로 의뢰하였다. 모든 혈액 항목은 녹십자 의료재단(대한진단검사의학회 인증)에 의뢰하여 분석하였다.

자료 처리 방법

본 연구의 자료처리 방법은 SPSS 14.0 프로그램을 이용하여 측정항목의 평균(M)과 표준편차(SD)를 기술하였고, 가설의 검정수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

호흡기계의 반응을 검토하기 위해 two-way ANOVA를 실시하여 상호작용(그룹[일반대학생, 축구선수]×시기[안정, 10분, 20분, 30분]) 유무를 확인한 후, 상호작용이 없는 경우 두 독립변수(그룹과 시기)각각에 주효과를 검토하였다. 주효과를 검토함에 있어서는 독립표본 T검정(그룹)과, one-way ANOVA (시기)를 실시한 후 사후검정을 실시하였다.

이러한 자료처리 방법은 평지와 3,000 m의 측정에서도 각각 실시하였다.

고도별 호흡기계의 반응을 검토하기 위해 two-way ANOVA를 실시하여 상호작용(그룹[일반대학생, 축구선수]×고도별[평지, 3,000 m 고도]) 유무를 확인한 후, 상호작용이 없는 경우 두 독립변수(그룹간과 고도별)각각에 주효과를 검토하였다.

혈액검사를 통한 면역기능의 검토를 위해, 두 그룹 모두 평

지에서 유산소성 운동 전과 후에 채혈을 실시하였으며, 3,000 m의 고도조건에서 운동 후에 채혈을 실시하여 총 세 번의 채혈을 통해 two-way ANOVA를 실시하여 상호작용(그룹[일반대학생, 축구선수]×시기·고도[운동전, 후, 3,000 m 후]) 유무를 확인한 후 상호작용이 없는 경우, 두 독립변수(그룹과 시기) 각각에 주효과를 검토(상기와 동일)하였다.

결 과

30분간의 유산소성 자전거운동을 실시하여 호흡기계의 변화를 그룹별, 시기별로 비교 검토한 결과는 Table 2와 같다.

평지에서의 검토는 유의한 상호작용은 나타나지 않았으며, 그룹간의 주효과에서 호흡수($t=-2.832$, $p=0.006$)에서 유의한 차이를 나타냈다. 시기별에서의 주효과는 일반대학생 그룹 안에서 모든 조사항목에 시기별 유의한 차이를 나타냈다(산소 $F=100.72$, 최대산소섭취량 $F=89.55$, 호흡수 $F=11.85$, 호흡교환율 $F=6.51$, 환기량 $F=40.73$, 이산화탄소 $F=82.00$, $p=0.001$). 축구선수 그룹 안에서도 모든 조사항목에 시기별 유의한 차이를 나타냈다(산소 $F=168.03$, 최대산소섭취량 $F=174.06$, 호흡수 $F=114.31$, 호흡교환율 $F=3.00$, 환기량 $F=67.27$, 이산화탄소 $F=119.70$, $p=0.001$).

3,000 m 고도에서의 검토는 이산화탄소에서 유의한 상호작용이 나타났다($F=5.89$, $p=0.001$). 그룹간의 주효과에서는 호흡수($t=-3.30$, $p=0.001$), 호흡교환율($t=-6.28$, $p=0.000$), 이산화탄소($t=-3.10$, $p=0.003$)에서 유의한 차이를 나타냈다. 시기별에서의 주효과는 일반대학생 그룹 안에서 모든 항목에서 시기별 유의한 차이를 나타냈다(산소 $F=56.16$, 최대산소섭취량 $F=72.00$, 호흡수 $F=7.24$, 호흡교환율 $F=8.18$, 환기량 $F=31.81$, 이산화탄소 $F=53.04$, $p=0.001$). 축구선수 그룹 안에서는 호흡교환율을 제외한 항목에 시기별 유의한 차이를 나타냈다(산소 $F=94.60$, 최대산소섭취량 $F=94.47$, 호흡수 $F=15.00$, 환기량 $F=35.77$, 이산화탄소 $F=84.68$, $p=0.000$).

Table 3은 그룹과 고도를 비교한 결과로 호흡교환율($F=36.61$, $p=0.000$)에서 상호작용효과가 나타났으며, 그룹 간 주효과에서는 산소섭취량($t=-2.28$), 최대산소섭취량($t=-2.09$), 호흡수($t=-4.31$), 호흡교환율($t=-2.94$), 환기량($t=-2.08$), 이산화탄소($t=-2.63$)에서 유의한 차이를 나타냈다($p<0.05$). 고도별 주효과에서는 호흡교환율($t=8.28$), 환기량($t=3.34$), 이산화탄소($t=2.74$)에서 유의한 차이를 나타냈다($p<0.01$).

면역기능의 변화는 Table 4와 같다. 유의한 상호작용은 MCHC ($F=4.13$), monocyte ($F=3.79$)에서 나타났다($p<0.05$). 그룹 간의 주효과는 RBC ($t=3.14$), HCT ($t=2.25$), Hb ($t=3.18$), MCV ($t=-2.02$), MCHC ($t=2.71$), reticulocyte ($t=4.62$), monocyte ($t=-2.63$)로 나타났으며($p<0.01$), 시기별 주효과인 일반대학생에서는 MCHC ($F=5.10$)가 유의한 차이를 보였으며($p<0.05$), 시기별 주효과인 축구선수그룹에서는 RBC ($F=5.40$),

Table 2. the changes of respiratory system on 30 min aerobic exercise at sea level and 3,000 m altitude (n=20)

		at 3,000 m altitude (time)		at sea level (time)	
		Control group	Soccer player	Control group	Soccer player
VO ₂ ^{B,Cc} (l/min)	rest	0.351±0.05	0.362±0.06	rest	0.292±0.07
	10 min	1.830±0.34	2.213±0.30	10 min	1.970±0.28
	20 min	1.568±0.38	2.036±0.33	20 min	1.821±0.32
	30 min	1.586±0.24	1.931±0.28	30 min	1.973±0.25
VO _{2max} ^{B,Cc} (ml/kg/min)	rest	5.10±1.04	5.21±0.90	rest	4.16±0.89
	10 min	26.55±5.32	31.67±5.00	10 min	28.53±3.90
	20 min	24.09±3.60	29.18±4.49	20 min	26.48±5.22
	30 min	23.00±3.38	27.62±3.37	30 min	25.89±3.93
RR ^{B,C,bc} (BPM)	rest	17.7±4.0	20.0±9.1	rest	17.3±5.6
	10 min	32.7±11.4	44.4±8.4	10 min	32.1±5.5
	20 min	33.0±8.4	46.5±11.3	20 min	33.1±8.2
	30 min	34.1±10.9	45.9±10.5	30 min	33.2±8.7
RQ ^{B,Cc} (CO ₂ /O ₂)	rest	0.714±0.09	0.889±0.13	rest	0.977±0.14
	10 min	0.829±0.07	1.039±0.17	10 min	1.114±0.07
	20 min	0.744±0.03	0.894±0.12	20 min	1.003±0.04
	30 min	0.724±0.03	0.870±0.12	30 min	0.974±0.04
VE ^{B,Cc} (l/min)	rest	8.96±1.54	9.76±3.29	rest	10.85±2.39
	10 min	42.96±12.71	55.49±0.34	10 min	58.56±13.14
	20 min	37.48±8.61	46.50±10.80	20 min	51.75±12.25
	30 min	35.42±7.17	42.93±8.67	30 min	49.25±11.27
VCO ₂ ^{A,B,Cc} (l/min)	rest	0.245±0.05	0.320±0.07	rest	0.278±0.06
	10 min	1.531±0.38	2.287±0.41	10 min	2.200±0.39
	20 min	1.244±0.23	1.792±0.22	20 min	1.827±0.34
	30 min	1.148±0.18	1.668±0.28	30 min	1.774±0.29

Mean±SD, *p<0.05.

^ainteraction at sea level (time×group), ^bmain effect between groups at sea level (RR^{*}), ^cmain effect on each time and group at sea level (*all items each time on control group, *all items excepted RQ at each time on soccer player group), ^Ainteraction at 3,000 m (time×group; VCO₂), ^Bmain effect between groups at 3,000 m (RR^{*}, RQ^{*}, VCO₂), ^Cmain effect on each time at 3,000 m (*all items each time on control group, *all items excepted RQ at each time on soccer player group).

Table 3. the changes of respiratory system in group and altitude on 30 min aerobic exercise (n=20)

		Control group	Soccer player
VO ₂ ^b (l/min)	sea level	1.467±0.73	1.712±0.85
	3,000 m altitude	1.334±0.64	1.636±0.79
VO _{2max} ^b (ml/kg/min)	sea level	21.27±10.70	24.78±12.29
	3,000 m altitude	19.69±9.31	23.41±11.35
RR ^b (BPM)	sea level	28.92±9.69	35.24±10.27
	3,000 m altitude	29.37±11.15	39.18±14.70
RQ ^{a,b,c} (CO ₂ /O ₂)	sea level	1.017±0.100	0.979±0.103
	3,000 m altitude	0.753±0.072	0.923±0.148
VE ^{b,c} (l/min)	sea level	42.60±21.50	48.47±22.79
	3,000 m altitude	31.20±15.61	38.67±20.00
VCO ₂ ^{b,c} (l/min)	sea level	1.520±0.798	1.691±0.880
	3,000 m altitude	1.042±0.540	1.517±0.784

Mean±SD, p<0.05.

^ainteraction (group×altitude), ^bmain effect between group, ^cmain effect between altitude.

WBC (F=10.69), HCT (F=12.90), Hb (F=11.53), lymphocyte (F=5.24)로 나타났다(p<0.05).

고찰

본 연구에서는 저압·저산소환경의 노출을 시켜 30분간의 유산소성 자전거운동이 호흡기계 반응 및 면역기능의 응답에 미치는 영향을 검토하였다.

우선, 이러한 고지환경의 환기응답에 있어서 고도의 증가와 더불어 흡기산소분압은 저하하며, 흡기산소분압의 저하와 함께 폐포 및 동맥혈중의 산소분압도 동반 저하한다. 그래서 고도 3,000 m 이상이 되면 환기량은 증가하기 시작하여 호흡을 빠르고 깊게 하게 된다. 따라서 저산소에 노출된 초기 단계에는 혈중산소분압의 저하로 인해 민감한 말초화학수용기가 자극되어 이것을 통해 환기의 상승이 일어난다[18].

본 연구의 그룹×고도에서의 검토는 호흡교환율에서 통계학적 유의한 상호작용이 나타나, 규칙적인 트레이닝 유무와 고도의 차이는 호흡교환율에 영향을 끼친다고 할 수 있다. 상

Table 4. The changes of immune function system on pre and post of 30 min aerobic exercise at sea level and 3,000 m altitude (n=20)

	Time	Control group	Soccer player		Control group	Soccer player
IgG (mg/dl)	exer pre	1388.00±246.30	1279.00±337.04	MCH (pg)	30.49±0.96	30.36±1.45
	exer post	1413.00±250.34	1381.00±261.30		30.25±0.91	30.54±1.46
	3,000 m exer post	1364.00±248.74	1468.89±231.60		30.47±0.89	30.57±1.41
IgA (mg/dl)	exer pre	237.39±113.76	200.09±84.13	MCHC ^{a,b,c} (g/dl)	34.91±0.93	33.82±0.70
	exer post	245.18±109.86	227.30±93.01		34.78±0.58	34.11±0.58
	3,000 m exer post	233.62±96.71	238.67±108.46		33.94±0.66	34.12±0.70
IgM (mg/dl)	exer pre	116.08±46.15	102.68±33.27	reticulocyte ^b (%)	1.215±0.300	0.919±0.230
	exer post	119.29±48.00	112.32±36.91		1.250±0.301	0.937±0.240
	3,000 m exer post	114.01±49.23	126.72±45.37		1.210±0.300	0.877±0.255
IgD (mg/dl)	exer pre	2.46±2.23	2.80±2.84	erythropoietin ^c (mU/ml)	14.66±4.83	16.66±3.15
	exer post	2.51±2.18	3.17±2.81		15.25±4.67	17.95±3.73
	3,000 m exer post	2.61±2.29	3.10±2.33		19.46±4.53	18.17±2.20
RBC ^{b,c} (10 ⁶ /μl)	exer pre	5.21±0.26	4.87±0.21	B. neutrophil (%)	0.00±0.00	0.00±0.00
	exer post	5.42±0.33	5.12±0.23		0.00±0.00	0.00±0.00
	3,000 m exer post	5.24±0.27	5.21±0.27		0.00±0.00	0.00±0.00
WBC ^c (10 ³ /μl)	exer pre	7.28±1.53	5.77±0.76	S. neutrophil (%)	54.66±6.85	59.83±8.04
	exer post	8.30±1.41	7.54±1.15		54.61±9.12	55.24±7.11
	3,000 m exer post	8.27±1.86	8.39±1.75		51.24±9.09	51.22±8.05
HCT ^{b,c} (%)	exer pre	45.47±2.26	43.65±1.10	lymphocyte ^c (%)	35.09±5.71	28.61±7.57
	exer post	47.11±2.75	45.75±1.27		36.01±8.10	33.23±6.77
	3,000 m exer post	47.03±2.28	46.54±1.50		37.98±8.33	39.13±6.84
Hb ^{b,c} (g/dl)	exer pre	15.87±0.84	14.76±0.42	monocyte ^{a,b} (%)	7.67±1.37	9.26±1.63
	exer post	16.38±1.04	15.60±0.50		7.35±1.54	9.58±1.93
	3,000 m exer post	15.96±0.80	15.89±0.71		8.08±1.69	7.59±1.38
MCV ^b (fl)	exer pre	87.35±2.55	89.76±3.00	basophil (%)	0.430±0.125	0.350±0.232
	exer post	87.00±2.51	89.51±3.38		0.320±0.114	0.340±0.300
	3,000 m exer post	89.77±2.40	89.52±3.59		0.440±0.165	0.367±0.158

Mean±SD, *p<0.05.

^ainteraction (time×group; MCHC^{*}, monocyte^{*}), ^bmain effect between group (RBC^{*}, HCT^{*}, Hb^{*}, MCV^{*}, MCHC^{*}, reticulocyte^{*}, monocyte^{*}), ^cmain effect by time (control group by time MCHC^{*}, soccer player by time RBC^{*}, WBC^{*}, HCT^{*}, Hb^{*}, lymphocyte^{*}).

세히 살펴보면, 그룹 간에서는 축구선수들이 일반대학생 보다 3,000 m 고도에서 호흡교환율이 유의하게 높은 것으로 나타났다(다른 항목도 마찬가지로). 특이한 사항은 고도별에서 평지보다 3,000 m 고도에서 호흡교환율이 유의하게 낮게 나타났다는 점이다. 더불어 상기와 같은 상황에서 환기량 또한 평지에 비해 3,000 m 고도가 유의하게 낮게 나타났다. 이것은 상기의 Miyamura (2001)의 이론[18]과 상이한 점이라고 사료되며, 이는 급성적인 노출과 더불어 평지 및 3,000 m 고도 두 곳 모두에서 실시된 30분간의 유산소성 운동의 초기 10분에 급속한 환기 상승이후 시간경과 따른 고지에서의 저산소성 환기억제 또는 저하(hypoxic ventilatory depression or decline)가 일어난 결과라고 사료된다. 즉 Table 2에서도 나타나고 있듯이 호흡수는 두 그룹 모두 평지 및 3,000 m 고도에서 운동성 시간경과와 더불어 증가하고 있으나, 호흡교환율과 환기량은 시간경과(20분 후, 30분 후)에 따라 점점 감소되고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 저압·저산소의 환경노출 후의 75 %HR_{max} 강도

에서 30분간의 유산소성 운동을 실시했을 경우에 3,000 m 고도에서도 급성적으로 상승 후 감소하는 것을 알게 되었다.

이러한 현상은 West 등(1983)의 논문결과[29]와 유사한 것으로 1200 m에서 6,300 m로의 고도상승에 따라 최대호흡수는 증가하는 한편 일회호흡량은 감소하므로 최대 환기량은 증가 후 다시 감소하는 경향을 보인다고 했다. 본 연구의 결과일치를 근거로 하고 있는 또 다른 선행연구로는 쥐실험에서 저산소를 흡입시키면 환기량은 일시적으로 증가하지만, 수분 후에는 증가한 환기량은 점차 감소(roll-off)한다고 했다[24,26]. 이와 같은 저산소성 환기저하(hypoxic ventilatory decline)는 중추신경내의 신경전달물질의 변화에 의한 것이라고 예측하고 있다. 일반적으로 해수면 상태(즉 평지)에서 규칙적인 지구성 훈련을 해온 운동선수들의 호흡과 관련된 안정성 저산소 상태의 환기응답은 일반인과 비교하여 유의하게 낮다고 하는 보고 [18]와, 또 다른 연구결과로써 고소등산가는 장거리운동선수나 일반인과 비교하여 저산소 환기응답이 유의하게 높다고

했다. 이 고소등산가의 높은 호흡관련 화학적 감수성은 장기 간의 고소체재에 의한 것으로 사료되고 있다. 그래서 이러한 결과를 뒷받침해 주는 보고로써 Schoene 등(1990)는 저산소 상태와 같은 고소에서의 환기응답의 증가(적응)는 고소에 체재한 고도와 기간에 많은 영향을 받는다고 하였다[22]. 본 연구와 비교해보면 체재기간은 급성적이며 3,000 m의 고도에서 일반인과 축구선수의 호흡기계 반응은 규칙적인 트레이닝을 받고 있는 축구선수들이 호흡 및 환기 반응이 높은 것으로 나타나 고소에서의 적응 및 감수성이 우수하다고 판단된다. 산소운반능력적인 측면에 있어서는 혈중에서의 항목들인 RBC, Hct, Hb는 3,000 m의 고도에서의 운동 후 유의한 증가를 나타내어, 고지트레이닝이 유효하게 유산소적 능력을 향상시킨다고 것을 뒷받침 해주는 결과라고 사료된다. 이는 간헐적으로 고지에 노출되는 정도로도 RBC가 유의하게 증가된다는 보고와 유사하며[21], 결국 심폐기능의 향상을 도모하는 결과라고 사료된다.

면역기능에 있어서 단구/대식세포계는 미생물에 대한 면역반응의 초기적인 반응으로 중요한 역할을 하며, 특히 백혈구 중의 단구(monocyte)는 조직 내에서 세균을 소화시키는 방어 역할을 맡고 있는 식세포이다. 본 연구에서는 종속변인인 단구에 그룹(일반대학생, 축구선수)과 시기·고도(운동전 후·3,000 m)의 상호작용이 통계적으로 유의하게 영향을 끼친다고 할 수 있다. 신체적인 외부상처나 활동 후에 단구의 농도는 증가하는 것으로 알려졌으며, Lewicki 등(1987)의 보고[16]에서도 급성적인 신체활동 후에 단구농도의 증가가 나타났다고 했다. 본 연구에서는 일반 대학생의 3,000 m에서의 운동 후에 단구농도의 증가가 나타나 상기의 선행연구와 유사한 결과를 나타내 보이고 있다. 관련해서 주당 3~10 시간의 무산소성 역치에 해당하는 지구성운동의 트레이닝군은 좌업의 쿼트를 군에 비교하여 단구를 어느 정도 활성화시키기는 것에는 유효하게 작용하고 있다고 보고했다[6]. 이와는 반대로 축구선수들의 3,000 m 고지에서 운동 후의 단구는 감소하는 경향을 나타냈다. 이 부분에 있어서는 운동습관의 유무에 따라 3,000 m의 고도에서 단구는 서로 다른 양상으로 변화를 하고 있다고 할 수 있다. 그 이유에 대해서는 좀 더 상세한 후속연구가 필요하다고 사료되며, 단 본 연구에서는 일반대학생과 규칙적인 운동습관을 갖고 있는 축구선수 사이에서 단구라는 식세포는 운동 실시 후에 고도에 따라 영향을 받는다고 할 수 있다.

요 약

본 연구에서는 저압·저산소환경의 노출을 시켜 30분간의 유산소성 자전거운동이 호흡기계 반응 및 면역기능의 응답에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과 몇 가지 지견을 도출해낼 수 있었다. 첫째로 75 %HR_{max} 강도에서 30분간의 유산소성 운동 중에 저산소성 환기억제 또는 저하(hypoxic ventilatory

depression or decline)라고 하는 현상은 평지뿐만이 아니라 3,000 m 고도에서도 나타나고 있고, 둘째 호흡기계의 반응은 축구선들이 특히 고소에서 적응과 감수성이 우수하다고 할 수 있으며, 셋째 면역기능의 항목인 단구(monocyte)는 운동습관의 유무 및 3,000 m의 고도에 따라 서로 다른 양상(상호작용)으로 변화를 하고 있다고 할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 명지대학교 교내연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

References

- Berglund, B., S. J. Fleck, J. T. Kearney, and L. Wide. 1992. Serum erythropoietin in athletes at moderate altitude. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2**, 21-25.
- Brooks, G. A. and T. D. Fahey. 1984. *Exercise Physiology*. pp. 471-502, John Wiley & Sons, New York.
- Burri, P. H. and E. R. Weibel. 1971. Morphometric estimation of pulmonary diffusion capacity; II Effect of environmental PO₂ on the growing lung. *Respir. Physiol.* **11**, 247-264.
- Daniels, J. and N. Oldridge. 1970. The effects of alternated exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2**, 107-112.
- Frisancho, A. R. 1979. *Human adaptation; a functional interpretation*. The C.V. Mosby Co. St., Louis.
- Gabriel, H., G. Rothe, M. Korpys, G. Schmitz, and W. Kindermann. 1997. Enhanced expression of HLA-DR, Fcγ receptor 1 (CD64) and leukocyte common antigen (CD45) indicate activation of monocytes in regenerative training periods of endurance athletes. *Int. J. Sports Med* **18**, 136-141.
- Gale, G. E., J. R. Torre-Bueno, R. E. Moon, H. A. Saltzman, and P. D. Wagner. 1985. Ventilation perfusion inequality in normal humans during exercise at sea level and simulated altitude. *J. Appl. Physiol.* **58**, 978-988.
- Jin, Y. S., M. J. Kim, J. Y. Park, K. S. Kim, J. T. Park, and Y. K. Kim. 1998. The effects of exercise pattern on acute response of T lymphocyte and natural killer cell: to search a immunological threshold around AT level. *J. Kor. sports med* **16**, 259-269.
- Jung, D. S., J. K. Lee, Y. S. Kim, B. J. Park, B. J. Sung, J. R. Yoon, N. H. Cho, and I. S. Oh. 2004. Effects of intermittent normobaric hypoxia on blood variables and cardiovascular endurance performance during a period of endurance training. *Korean J. Sport Sci.* **15**, 60-71.
- Kim, K. J., J. O. Jin, and S. K. Lim. 1994. Aerobic capacities of elite female marathoners after three weeks of training at 1896m altitude. *J. Kor. sports med* **12**, 327-343.
- Kim, K. J., K. T. Kim, B. H. Suh, X. Wen, and B. Yang. 1996. Change of physiological indicators in relation to the adaptation of altitude training of marathoners. *Exer. Sci.* **5**,

- 37-50.
12. Klausen, T., U. Ghisler, T. Mohr, and N. Fogh-Andersen. 1992. Erythropoietin, 2,3 diphosphoglycerate and plasma volume during moderate-altitude training. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2**, 16-20.
 13. Kwak, Y. S., C. W. Kim, and Y. H. Paik. 2007. Immunological aspects of contemporary exercise. *J. Life Science* **17**, 1166-1171.
 14. Lee, E. J. and S. Sunoo. 2006. Effect of the different type of short-term hypobaric hypoxic training on aerobic exercise performance and blood variables and ACE gene polymorphism in relation to high altitude performance. *The Korean J. Exer. Nutr.* **10**, 153-161.
 15. Lee, J. K. and J. H. Kim. 2003. The effects of altitude training on VO_{2max} , anaerobic threshold, blood components and immune substrates in elite alpine skiers. *Exer. Sci.* **12**, 357-366.
 16. Lewicki, R., H. Tchorzewski, A. Denys, M. Kowalska, and A. Goilnska. 1987. Effect of physical exercise on some parameters of immunity in conditioned sportsman. *Int. J. Sports Med* **8**, 309-314.
 17. Mairbaur, H. 1994. Red blood cell function in hypoxia at altitude and exercise. *Int. J. Sports Med* **15**, 51-63.
 18. Miyamura, M. 2001. ventilatory response in hypoxic environment. *Japan J. Heal. Phys. Educ. Rec.* **51**, 281-285.
 19. Pedersen, B. K., M. Kappel, M. Klokke, H. B. Nielsen, and N. H. Secher. 1994. The immune system during exposure to extreme physiologic condition. *Int. J. Sports Med* **15**, 116-121.
 20. Pedersen, B. K., N. Tvede, and L. D. Christensen. 1989. Natural killer cell activity in peripheral blood of highly trained and untrained persons. *Int. J. Sports Med* **10**, 129-131.
 21. Rodriguez, F. A., J. L. Ventura, M. Casas, H. Casas, T. Pages, R. Rama, A. Ricart, L. Palacios, and G. Viscor. 2000. Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.* **82**, 170-177.
 22. Schoene, R. B., R. C. Roach, P. H. Hackett, J. R. Sutton, A. Cymerman, and C. S. Houston. 1990. Operation Everest II: ventilatory adaptation during gradual decompression to extreme altitude. *Med. Sci. Sports Exerc.* **22**, 804-810.
 23. Sunoo, S. and K. S. Hwang. 2004. Effects of chronic intermittent hypobaric hypoxic training on cardiopulmonary function and oxygen transporting capacity in trained athletes. *The Korean J. Phys. Edu.* **43**, 441-455.
 24. Tatsumi, K., C. K. Pickett, and J. V. Weil. 1992. Effects of haloperidol and domperidone on ventilatory roll off during sustained hypoxia in cats. *J. Appl. Physiol.* **72**, 1945-1952.
 25. Terrados, N. 1992. Altitude training and muscular metabolism. *Int. J. Sports Med* **13**, S206-S209.
 26. Vizek, M., C. K. Pickett, and J. V. Weil. 1987. Biphasic ventilatory response of adult cats to sustained hypoxia has central origin. *J. Appl. Physiol.* **63**, 1658-1664.
 27. Vogt, M., A. Puntchart, J. Flier, C. Geiser, R. Zuleger, and H. Hoppeler. 2001. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *J. Appl. Physiol.* **91**, 173-182.
 28. Ward, M. P., J. S. Milledges, and J. B. West. 1989. High altitude medicine and physiology. *Chapman and Hall Medical*, London.
 29. West, J. B. 1983. Climbing Mt Everest without supplementary oxygen-an analysis of maximal exercise during extreme hypoxia. *Respir. Physiol.* **52**, 265-279.
 30. Wilmore, J. H. and D. L. Costill. 1994. Physiology of sport and exercise (Exercise in hypobaric, hyperbaric, and microgravity environments), *Human Kinetics, IL*, Champaign.
 31. Yoon, S. J., J. C. Lee, Y. H. Byun, and J. M. You. 2005. Anaerobic capacity and blood lactate concentration at acute exposure hypoxia and normoxia. *J. Sport Leis. Stu.* **23**, 367-377.