

論文

저압실 비행 훈련이 대한민국 공군 조종사의 혈액 성분에 미치는 영향

김현수*, 전은령*

Alterations in hematological parameters in Republic of Korea Air Force pilots during altitude chamber flight

Hyun-Soo Kim*, Eunryoung Jeon*

ABSTRACT

An altitude chamber, also known as a hypobaric chamber, is a device used during aerospace or high terrestrial altitude research or training to simulate the effects of high altitude on the human body. Although data from altitude chamber researches using experimental animals have been accumulated, studies in the humans exposed to hypobaric conditions are seldomly reported. Despite the importance of altitude chamber flight training in the field of aviation physiology, the hematological analysis of post-flight physiological changes has rarely been performed. The aims of the present study were to investigate the alterations in blood components during altitude chamber flight and to determine whether the differences between pre- and post-flight values are significant. Sixty experienced pilots in the Republic of Korea Air Force were enrolled in the altitude chamber flight training. Venous blood samples were obtained before and immediately after the flight. Compared with the pre-flight values ($6.32 \times 10^3/\text{mm}^3$, $5.02 \times 10^6/\text{mm}^3$, 15.61 g/dL, respectively), white blood cell count, red blood cell count and hemoglobin level were significantly increased after the flight ($6.77 \times 10^3/\text{mm}^3$, $5.44 \times 10^6/\text{mm}^3$, 16.26 g/dL; $p=0.006$, $p=0.012$, $p<0.001$, respectively). These alterations may be attributable to the exposure to hypobaric hypoxia, 100% oxygen supply for denitrogenation, considerable rise and fall in altitude and psychophysical stress due to these factors. In further studies, experimental groups and methods should be individualized to ensure objectivity and diversification. In addition, multiple time-frame analyses regarding the changing pattern of each blood component are also required to elucidate the physiological process for adapting to the high terrestrial altitude exposure.

Key Words : Altitude chamber(저압실), Complete blood count(일반 혈액 검사), White blood cell(백혈구), Red blood cell(적혈구), Hemoglobin(혈색소)

1. 서 론

저압실 비행 훈련은 공중 근무자들로 하여금 실제 비행 중 직면할 수 있는 다양한 환경에서

나타나는 현상을 지상에서 체험하게 하고, 고공에서 발생할 수 있는 신체 이상이나 자각 증상을 조기에 인지하여 이에 대한 신속한 대처를 가능하게 하기 위한 훈련이다. 고공비행 중에 반드시 필요한 산소공급장비 운용능력 습득, 급격한 기압 변화에 의해 발생하는 체강통 등의 압력 손상 체험 및 예방, 저산소 환경 노출에 따른 판단력 소실 및 의식 저하 등의 신경학적 변화 인지, 야간 시각 변화에 대한 이해 등을 주목적으로 한다

2012년 04월 05일 접수 ~ 2012년 05월 02일 심사완료
논문심사일 (2012.04.26 1차), (2012.05.02, 2차)

* 공군 항공우주의료원 항공우주의학연구소센터

연락처, E-mail : apkimhs@gmail.com

충청북도 청원군 남일면 쌍수리 사서함 335-21호

는 점에서, 저압실 비행 훈련은 항공생리학의 가장 중요한 분야 중 하나라고 할 수 있다. 항공의 학적 측면에서는 훈련 중 발생할 수 있는 다양한 신경과적 증상, 감압증, 압력 손상, 저산소증 등의 신체 이상을 최소화하여 공중 근무자의 건강 상태를 유지하면서 훈련 효과를 최대화하는 것이 중요하다.

현재 공군 항공우주의료원(이하 항의원)은 전 조종사를 대상으로 저압실 비행 훈련을 비롯한 항공생리 교육 및 훈련을 시행하고 있다. 그러나 이에 대한 국내 연구 자료는 아직 극히 미비하다. 실험동물을 이용한 저압실 연구는 비교적 자주 보고되고 있으나 사람을 대상으로 한 저압실 관련 연구는 거의 없는 실정으로, 저압실 비행 훈련 시 나타난 안기능 및 안위의 변화, 기압성 중이염, 변압증, 말초동맥혈 산소포화도 및 유효 의식시간 변화 등에 대한 연구가 전부이다[1-7]. 무엇보다도 저압실 비행 훈련 중 일어나는 신체 변화에 대한 기초적인 분석 자료가 정리되어 있지 않다는 것이 가장 큰 문제라고 할 수 있다.

일반 혈액 검사는 검체 획득이 비교적 간단하고 비용이 저렴하면서도 개인의 건강 상태에 관한 전반적인 정보를 제공하는 유용한 검사이다. 저압실 훈련에 따른 혈액학적 변화를 분석한 연구는 국내에서 수차례 보고된 적이 있지만, 연구가 종료된 지 20년 이상 지나 현재 실정에 적용하기가 어렵고, 조사 인원의 수가 적어 참고 자료로 사용하기에는 객관성이 부족하다는 단점이 있다. 본 연구에서는 대한민국 공군 조종사를 대상으로, 저압실 비행 훈련 중 일어나는 혈액 성분의 양적 변화를 분석하고, 훈련 전후 검사 수치 간에 유의한 차이가 있는지를 알아보았다. 또한 본 연구를 통해 얻은 결과를 바탕으로 하여 추후 실험을 계획하는 데 도움이 될 만한 연구 방향을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

2.1.1 저압실 비행 훈련

본 연구는 항의원 임상연구윤리위원회의 승인을 받은 후 진행되었다. 실험은 60명의 숙련급 현역 전투기 조종사(계급, 중위~대위; 중위수 연령, 29세)를 대상으로 하였다. 실험의 신뢰성을

높이기 위해 약물 복용 중이거나, 최근 1주 동안 비행을 하지 않았거나, 1개월 이내에 파견 후 복귀한 조종사는 실험에서 제외하였다. 저압실 비행 훈련은 항의원 항공우주생리교육훈련센터에서 가동 중인 저압 챔버(Falcon Altitude Chamber, Environmental Tectonics Corporation, Southampton, PA, USA)를 이용하여 실시하였다. 비행군의관의 검진을 통해 비행 전 모든 피실험자의 신체 이상 유무를 조사하였다. 각각한 비행 질차는 다음과 같다[8]. 산소마스크를 착용하고, 교관의 브리핑을 통해 비행 절차에 대해 숙지한다. 최고 고도에 도달하기 전 중이와 부비강의 이상 유무를 점검하기 위해 5,000 ft까지 상승한 후 하강한다. 감압증을 예방하기 위해 30분간 100% 산소로 질소 제거 호흡을 실시한 후, 분당 5,000 ft의 속도로 최고 도달 고도인 35,000 ft까지 상승한다. 이후 분당 10,000 ft의 속도로 급강하한 뒤, 25,000 ft에서 약 15분 간 산소마스크를 벗은 채로 저기압성 저산소 환경에 노출되어 저산소증에 의한 다양한 자각 증상을 체험한다. 이후 18,000 ft까지 하강하여 약 5분 간 야간 시각 훈련을 실시한 후, 상승 시와 동일한 속도로 지상까지 하강한다. 비행 후 모든 피실험자는 비행군의관의 재검을 통해 특이 증상 및 신체 이상 유무를 점검받았다.

2.1.2 혈액 검사

저압실 비행 15분전 모든 피실험자의 우측 전주정맥으로부터 20 mL의 혈액을 채취한다. 비행 직후 좌측 전주정맥으로부터 동량의 정맥혈을 추가로 채취한다. 실험의 신뢰성을 높이기 위해 채혈 전 흡연, 과도한 수분 섭취, 급격한 운동 등 검사 결과에 영향을 미칠 수 있는 행동을 제한하였다. 항의원 항공우주의학연구센터 병리과에서 가동 중인 자동 혈구 분석기(Sysmex SE 9000, Sysmex Corporation, Kobe, Japan)를 이용하여 백혈구 수(white blood cell count; $\times 10^3/\text{mm}^3$), 적혈구 수(red blood cell count; $\times 10^6/\text{mm}^3$), 혈색소(hemoglobin; g/dL), 적혈구 용적률(hematocrit; %), 혈소판 수(platelet count; $\times 10^3/\text{mm}^3$)를 측정하였다.

2.1.3 통계 분석

각 측정치는 평균±표준 오차로 표시하였다. paired *t*-test를 이용하여 저압실 비행 훈련에 따른 각 혈액 성분 수치의 변화가 통계적으로 유의

한지 분석하였다. 통계 분석은 SPSS (version 15.0, SPSS Incorporated, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 시행하였다. p value < 0.05 일 때 통계적으로 유의한 것으로 평가하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

항공생리학 분야에서 저압실 비행 훈련이 차지하는 비중과 중요성에도 불구하고, 훈련에 따른 신체의 생리학적 변화를 분석한 연구는 매우 드물다. 특히 대한민국 공군 조종사의 혈액을 분석한 저압실 연구는 보고된 적이 없다. 본 연구에서는 저압실 훈련 전후 숙련급 전투기 조종사의 혈액 성분 변화를 분석하여 훈련에 따른 신체적 변화에 대한 기초 자료를 확보하고자 하였다. 실험의 주요 결과는 크게 두 가지로 나누어 살펴볼

Table 1. Alterations in hematological parameters in 60 experienced ROKAF pilots during altitude chamber flight (25,000 ft)

Parameter	Pre-flight	Post-flight	p value
WBC count	6.31±1.34	6.77±1.53	0.006*
RBC count	5.02±0.28	5.44±0.27	0.012*
Hgb	15.61±0.81	16.26±0.76	<0.001*
Hct	44.36±2.07	45.64±2.01	0.186
PLT count	240.00±39.16	238.06±37.41	0.491

Data represent the mean ± standard error of the mean. WBC indicates white blood cell($\times 10^3/\text{mm}^3$); RBC, red blood cell($\times 10^6/\text{mm}^3$); Hgb, hemoglobin(g/dL); Hct, hematocrit(%); PLT, platelet ($\times 10^3/\text{mm}^3$).

* Statistically significant.

수 있다 (Table 1). 첫째, 저압실 비행 전($6.32 \times 10^3/\text{mm}^3$, $5.02 \times 10^6/\text{mm}^3$) 과 비교하여 비행 후 ($6.77 \times 10^3/\text{mm}^3$, $5.44 \times 10^6/\text{mm}^3$)에 적혈구 수와 혈색소가 의미 있게($p=0.006$, $p=0.012$) 증가했음을 관찰하였다. 저압실 비행 훈련 절차를 고려했을 때, 적혈구 수와 혈색소의 변화에 영향을 미칠 수 있는 요인으로써 체내에 공급되는 산소 분압 변화와 직접적인 관련이 있는 저산소 환경 노출과 질소 제거 호흡을 고려해야 할 것으로 생각된다. 고공 환경에서는 대기압의 감소로 인해 같은 부피의 대기 속에 존재하는 산소 분자의 수가 감소하기 때문에, 같은 부피의 공기를 들이마시더라도 혈액 속으로 용해되는 산소의 양이 줄어들어 동맥혈 내 산소가 감소하게 된다. 인체는 이러한 변화에 대응하기 위해 폐환기량, 잔류용

적, 심박출량 등을 증가시키고, 산소 운반능, 즉 조직에 공급하는 동맥혈 내 산소 농도를 유지하기 위해 적혈구 수, 혈색소, 모세혈관의 밀도를 증가시킨다. 저산소 환경 노출에 따른 조직 저산소증이 신장에서의 적혈구 생성 촉진 인자(erythropoietin [EPO]) 분비와 골수에서의 적혈구 생산을 촉진시키는 가장 중요한 원인이라는 점에서, 본 연구에서 관찰된 적혈구 수와 혈색소의 증가는 25,000 ft 상공의 저기압성 저산소증에 의한 EPO 분비 증가로부터 기인한 것이라고 추측해 볼 수 있다. 또한 저압실 비행 전 감압증을 예방하기 위해 체내 질소 제거를 목적으로 시행하는 30분간의 100% 산소 호흡 역시 EPO 분비를 촉진시켜 적혈구와 혈색소 생산을 증가시키는 원인이 될 수 있다. 일반적으로 고농도 산소 흡입에 의해 조직 내 산소 분압이 높아지는 경우에는 산소 운반능에 대한 요구도가 감소하여 EPO 분비와 혈색소 생산이 감소한다고 알려져 있으나 [9], 최근 연구는 100% 산소 호흡이 건강한 사람의 혈청 내 EPO를 오히려 증가시킬 수 있다는 결과를 보여주고 있다[10,11]. 저자들은 혈액 내 산소 분압이 고산소 환경($\text{FiO}_2=1.0$)에서 100% 산소 호흡을 통해 증가되었다가 일반산소 환경($\text{FiO}_2=0.2$)에서 수분내에 정상 수치로 돌아오는 과정에서, 신장 사구체가 조직 내 산소 분압이 상대적으로 감소했다고 인지하기 때문에(상대적 저산소증 상태), EPO 분비를 촉진하게 된다고 설명하였다. 이는 고산소 환경에서 일반산소 환경으로의 변화가 EPO 분비의 유일한 촉진 인자로 알려졌던 조직 저산소증과는 다른 독립적인 기전을 통해 EPO 분비를 촉진시킬 수 있다는 것을 시사한다.

둘째, 본 연구에서는 저압실 전(15.61 g/dL)과 비교하여 비행 후(16.26 g/dL)에 백혈구 수가 의미 있게($p<0.001$) 증가했음을 관찰하였다. 저자의 문헌 고찰에 의하면 저압실 비행 훈련 후 백혈구 수의 변화를 분석한 국내 연구는 아직까지 보고된 적이 없다. 급성 고고도 환경 노출에 따른 저산소증과 이로 인한 자각 증상은 인체에 스트레스로 작용하여, 대표적인 스트레스 호르몬인 cortisol, epinephrine, norepinephrine의 분비를 촉진시킨다고 알려져 있다[12]. 특히 저압실 비행 훈련 중에는 고도 상승과 하강에 따른 기압 변화에 의한 복부 팽만, 중이통, 부비강통, 치통 등의 체강통도 부가적인 스트레스 요인으로 작용할 것으로 추측된다. 이를 뒷받침하는 결과로서 전은령 등[13]은 대한민국 공군 숙련급 조종사를 대상으로 한 저압실 연구에서 비행 전과 비교하여

비행 후에 타액 내 cortisol 수치가 의미 있게 증가됨을 관찰하였다. 이들 스트레스 호르몬은 고고도 환경 노출에 따른 백혈구 수의 증가에 관여하는데, 특히 노출 후 첫 30분 동안에는 림프구 수의 증가, 이후 2~4 시간 동안에는 중성구 수의 증가를 일으킨다고 보고되고 있다[14,15]. 관련 연구의 부재로 인해 정확한 기전은 아직 밝혀지지 않았으나, 스트레스 호르몬에 의한 혈관내피 세포로부터 유리된 중성구 증가 또는 비장과 골수에서의 백혈구 전구세포 생성 증가 및 성숙 촉진 등을 통해 말초 혈액 내 백혈구 수가 증가했을 것으로 추측해 볼 수 있다.

다른 실험군을 대상으로 저압실 비행 후 혈액 성분 변화를 분석한 이전 연구들은 다양한 결과를 보여주었다. 적혈구 수 및 혈색소의 변화와 관련하여, 일반인을 대상으로 한 국내 연구들에서는 고고도에서 EPO, 적혈구 수, 혈색소의 증가가 관찰되었다[16,17]. Rodriguez 등[18]과 Casas 등[19]은 간헐적인 저압, 저산소 환경 노출 시 산소 운반 능력을 증가시키기 위한 적응 반응으로써 적혈구 수와 혈색소가 증가한다는 것을 관찰하였다. Sewchand 등[20]도 건강한 일반인을 대상으로 한 연구에서 저압실 비행 후 적혈구 수와 적혈구용적률의 증가를 관찰하였다. 그러나 두 지표 간의 관계는 일정하지 않았으며, 이를 바탕으로 저압실 비행에 따른 각 혈액 성분의 증가 정도는 차이를 보일 수 있다고 주장하였다. 반면, Lundby 등[21]과 Katayama 등[22]은 반복적인 저압실 비행이 혈색소, 적혈구 수, 망상적혈구, 혈청 철 수치에 영향을 주지 않았다고 보고하였다. 저압실 비행 후에 일시적으로 EPO가 증가할 수는 있으나, 그 양과 지속시간이 혈색소의 생산을 촉진시킬 수 있는 만큼이 아니라는 가설을 제시하였다. 흥미롭게도 이 가설을 지지하는 연구 결과로서 Abellan 등[23]은 운동선수를 대상으로 한 간헐적인 저압실 비행이 EPO를 증가시켰음에도 불구하고 적혈구, 혈색소, 망상적혈구는 유의한 변화를 보이지 않았다고 보고하였다. 이는 EPO의 증가가 반드시 혈액 성분의 증가로 이어지는 것은 아니라는 것을 시사한다. 건강한 일반인을 대상으로 한 연구에서 밝혀진 EPO와 적혈구 수 및 혈색소 간 연관성이 고도로 훈련된 운동선수라는 특정 집단에서는 관찰되지 않은 점으로 미루어 볼 때, 본 연구의 실험 대상인 숙련급 조종사의 경우에도 적혈구 수와 혈색소의 증가가 EPO의 증가와 관련되지 않을 수 있다는 가능성을 배제할 수 없다. 이처럼 다양한 결과를 나타내는 이유는 저압 챔버의 종류, 최고 도달 고도,

저산소 환경 노출 시간, 비행 후 채혈 시점, 실험군의 인구학적 특성, 각 실험실의 검사기기 및 검사 방법 등에 차이가 있었기 때문으로 추측할 수 있다. 백혈구 수의 변화와 관련하여, 본 연구의 결과와 부합하는 자료로서 Beidleman 등[24]과 Hitomi 등[25]이 각각 4,300 m 와 4,500 m 고도에 급성 노출 시 중성구와 림프구의 수를 포함한 백혈구 수가 의미 있게 증가했음을 보고하였다.

본 연구는 다음과 같은 한계점을 가지고 있다. 첫째, 소수의 숙련급 전투기 조종사를 대상으로 하였기 때문에 전체 공중 근무자의 결과로 일반화하기에는 한계가 있다. 초급 조종사와 항공우주생리 교육훈련 담당교관 등 연구 대상을 다양화할 필요가 있다. 둘째, 혈액 성분의 변화만으로는 비행 후 신체 상태를 정확히 평가하기 어렵다. 생화학 및 면역혈청 검사 등을 통해 추가적인 자료를 확보하여 비행 후 신체 변화의 양상을 다각도로 분석할 필요가 있다. 셋째, 혈액 검사 결과만을 분석하여 얻은 자료는 실제 훈련과 연관시키기가 어려운 것이 사실이다. 저압실 비행은 훈련 대상에 따라 비행 절차가 개별적이고 각 개인에 따라 훈련이 미치는 신체적 영향이 다를 수밖에 없으므로 다양성과 실용성을 고려한 실험 방법을 설계하는 것이 중요하다. 넷째, 본 연구에서는 비행 직후의 혈액 변화만을 분석하였으나, 이는 시간에 따른 신체의 생리적 변화를 반영하지 못 하는 한계가 있다. 비행 후 일정 시간이 경과함에 따라 혈액 성분 수치의 정상화를 관찰한 이전 연구를 참고하여 추후 연구를 진행할 필요가 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 저압실 비행 훈련을 받은 대한민국 공군 조종사들의 혈액 성분 변화를 분석한 결과 저압실 비행 전 검사 수치에 비해 비행 후 백혈구 수, 적혈구 수, 혈색소가 증가했음을 관찰하였다. 이러한 혈액 성분 변화에 영향을 미칠 수 있는 요인으로써 저산소 환경 노출, 질소 제거 호흡, 고도 상승 및 하강 등 각 절차에 의한 다양한 신체의 생리적 변화와 이로 인한 스트레스를 고려해야 할 것으로 생각된다. 추후 연구에서는, 객관성을 확보하기 위해 실험군을 다양화하고, 각 훈련 절차에 따른 변화를 분석하기 위해 실험 방법을 개별화하여야 한다. 또한 비행

후 시간 경과에 따른 각 성분의 변화 양상을 분석하여 훈련에 따른 생리적 적응 과정을 규명할 필요가 있다.

후 기

본 논문에 수록된 주장과 의견을 포함한 모든 내용은 저자 개인의 견해이며, 대한민국 공군의 공식 견해가 아님을 밝혀 둔다.

참고문헌

- [1] 엄용의, 유승흠, 최홍열, 구본술, "저압실 비행 훈련 시 나타나는 변압증에 대한 통계학적 고찰", *항공의학*, 제22권, 1974, pp. 103~108.
- [2] 이진학, 신상구, "저산소증이 안기능에 미치는 영향", *항공의학*, 제27권 제2호, 1979, pp. 39~46.
- [3] 이진학, "저산소증이 안위에 미치는 영향", *항공의학*, 제27권 제2호, 1979, pp. 47~54.
- [4] 김형중, 황명순, 박병옥, 박송진, "저압실 비행 시 기압성 중이염의 발생 기저에 관한 실험 연구", *항공의학*, 제36권, 1988, pp. 93~108.
- [5] 이학룡, 조규섭, "말초동맥혈 산소포화도와 유효의식시간과의 관계에 대한 고찰", *항공의학*, 제41권, 1993, pp. 99~110.
- [6] 이학룡, 조규섭, "유효의식시간 종료 후 말초동맥혈 산소포화도의 변화", *항공의학*, 제42권, 1994, pp. 33~42.
- [7] 김찬, 안승철, 이민구, 김동원, "저압실 비행 훈련의 유효의식시간에 영향을 미치는 생리적 요인", *항공우주의학*, 제11권 제3호, 2001, pp. 160~164.
- [8] 공군본부, "공중근무자 항공우주생리 교육훈련", *국군인쇄창*, 2007, pp. 80~84.
- [9] Korot, M., Korot, F., Franek, E., Wiecek, A., Nowicki, M., Dulawa, J., "Effect of isobaric hyperoxemia on erythropoietin secretion in hypertensive patients", *Hypertension*, Vol. 24, 1994, pp. 486~490.
- [10] Balestra, C., Germonpre, P., Poortmans, J., Marroni, A., Schiettecatte, J., Collarad, J.-F., Snoeck, T., "Erythropoietin production can be enhanced by normobaric oxygen breathing in healthy humans", *Undersea and Hyperbaric Medicine*, Vol. 31, 2004, pp. 53~57.
- [11] Balestra, C., Germonpre, P., Poortmans, J., Marroni, A., "Serum erythropoietin levels in healthy humans after a short period of normobaric and hyperbaric oxygen breathing: the normobaric oxygen paradox", *Journal of Applied Physiology*, Vol. 100, 2006, pp. 512~518.
- [12] Beidleman, B. A., Staab, J. E., Glickman, E. L., "Neurohumoral responses and adaptations during rest and exercise at altitude." In *The Endocrine System in Sports and Exercise* (Kraemer, W. J., Rogol, A. D., eds.), Blackwell, Oxford, 2005, pp. 444~465.
- [13] 전은령, 천병철, 서정민, 김인수, "조종사의 가속도, 저압실 훈련 전, 후 스트레스 반응 지표로서 코티졸 수치 비교: 초급 조종사와 기성 조종사의 비교", *항공우주의료원 학술지*, 제57권 제2호, 2010, pp. 39~53.
- [14] Benschop, R. J., Rodrigues-Feuerhahn, M., Schedlowski, M., "Catecholamine-induced leukocytosis: early observations, current research and future directions", *Brain, Behavior and Immunity*, Vol. 10, 1996, pp. 77~91.
- [15] Klokke, M., Kharazmi, A., Galbo, H., Bygbjerg, I., Pedersen, B. K., "Influence of in vivo hypobaric hypoxia on function of lymphocytes, neutrocytes, natural killer cells and cytokines", *Journal of Applied Physiology*, Vol. 74, 1993, pp. 1100~1106.
- [16] 오인환, 조영석, "간헐적인 저압, 저산소 트레이닝이 엘리트 중장거리 육상선수의 운동능력 및 혈액성분에 미치는 영향에 대한 사례연구", *한국체육과학회지*, 제18권 제2호, 2009, pp. 1233~1240.
- [17] 이동준, "급성 저압, 저산소 노출에서의 유산소성 운동이 면역기능 및 호흡기계에 미치는 영향", *Journal of Life Science*, Vol. 19, 2009, pp. 825~831.
- [18] Rodriguez, F. A., Ventura, J. L., Casas, M., Casas, H., Pages, T., Rama, R., Ricart, A., Palacios, L., Viscor, G., "Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia", *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 20, 2000, pp. 170~177.
- [19] Casas, M., Casas, H., Pages, T., Rama, M., Ricart, A., Ventura, J. L., Ibanez, J., Rodriguez,

- F. A., Viscor, G., "Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimation and improves the lactate threshold", *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 71, 2000, pp. 125~130.
- [20] Sewchand, L. S., Lovlin, R. E., Kinnear, G., Rowlands, S., "Red blood cell count(RCC) and volume(MCV) of three subjects in a hypobaric chamber", *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 51 No. 6, 1980, pp. 577~578.
- [21] Lundby, C., Nielsen, T. K., Dela, F., Damsgaard, R., "The influence of intermittent altitude exposure to 4,100 m on exercise capacity and blood variables", *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, Vol. 15, 2005, pp. 182~187.
- [22] Katayama, K., Matsuo, H., Ishida, K., Mori, S., Miyamura, M., "Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency", *High Altitude Medicine and Biology*, Vol. 4 No. 3, pp. 291~304.
- [23] Abellan, R., Remacha, A. F., Ventura, R., Sarda, M. P., Segura, J., Rodriguez, F. A., "Hematologic response to four weeks of intermittent hypobaric hypoxia in highly trained athletes", *Haematologica*, Vol. 90 No. 1, 2005, pp. 126~127.
- [24] Beidleman, B. A., Muza, S. R., Fulco, C. S., Cymerman, A., Staab, J. E., Sawka, M. N., Lewis, S. F., Skrinar, G. S., "White blood cell and hormonal responses to 4,300 m altitude before and after intermittent altitude exposure", *Clinical Science*, Vol. 111, 2006, pp. 163~169.
- [25] Hitomi, Y., Miyamura, M., Mori, S., Suzuki, K., Itoh, C., Murakami, K., Haga, S., Ohno, H., "Intermittent hypobaric hypoxia increases the ability of neutrophils to generate superoxide anion in humans", *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, Vol. 30 No. 9, 2003, pp. 659~664.