

# 헬스케어용 실내 자전거 운동에 의한 호흡가스 분석

홍철운<sup>1</sup>, 강형섭<sup>2</sup>, 김기범<sup>2</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부, <sup>2</sup>전북대학교 수의과대학 약리학교실

## Analysis of Respiratory Gas by Training on Healthcare Indoor Bicycle

Chul-Un Hong<sup>1</sup>, Hyung-Sub Kang<sup>2</sup>, Gi-Beum Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Biomedical Engineering, College of Engineering, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Department of Pharmacology, College of Veterinary Medicine, Chonbuk National University

(Received December 22, 2008. Accepted April 16, 2009)

### Abstract

This study was conducted to observe the change of limbs stroke and respiration gas parameters in our new bicycle fitness system. We hypothesized that the variable force of left and right limbs might be effective for sensing stimulation in modified new unequal pedal bicycle system. It has been developed, which can provide visual information and different length of pedal with left and right limbs. Experimental results showed different activities between the left and right limbs where the activity of the left limb increased than that of right limb. Especially, the soleus muscle activity increased both in control and experimental groups by this training method. But oxygen and carbon dioxide partial pressures in respiratory gas increased during training method. These results suggest that acidosis of blood was led by this process. Consequently, this bicycle training is concluded that aerobic training could affect different limb activities. Finally, we expect that our new bicycle system will be effective for healthcare with proper balance between the left and right limbs.

**Key words :** postural balance, bicycle training, oxygen saturation, respiratory gas

### 1. 서론

전체 국민 소득의 증가로 인해 삶이 풍요로워지고 고령화 사회가 진행되면서 개인의 건강과 삶을 중요시 하는 ‘웰빙(Well-being)’시대 도입으로 인해 건강분야에 대한 관심이 고조되고 있다[1,2]. 그 중 모든 동작 수행에 중요한 영향을 주며 신체의 평형 상태를 유지하는 균형은 건강에 없어서는 안 되는 필수 불가결한 요소이다[2-4]. 따라서 대부분의 사람들은 병원이나 스포츠 센터와 같은 전문 기관을 통해 개인의 건강과 균형감을 유지하고 증진하기 위해 많은 시간과 노력을 투자하고 있다. 여러 운동 중 자세와 균형조절에 효과가 가장 크다고 할 수 있는 운동으로 자전거 운동을 들 수 있다. 이와 같은 자전거 운동기구는 자세와 균형 조절에 적합할 뿐만 아니라 실내에서 운동을 수행할 수 있는 유산소 운동기구이다. 그러나 아직까지는 자세와 균형조절에 효과적인 자전거 운동기구가 없는 상황이다.

일반적으로 운동시 동원되는 대사기전과 관련된 중요한 생리학적 변인으로는 호흡가스변인, 혈중 대사기질, 대사 부산물 및 호르몬 농도 등이 있다. 호흡가스변인은 산소운반과정을 비롯한 이산화탄소배출량, 호흡교환율 등으로 구성되면서 산소이용과정과 관련된 여러 가지 변화에 대해서 중요한 분석지표로 이용될 수 있다[5]. 체내에서의 가스교환에 영향을 미치는 요인들로는 확산거리, 산소와 이산화탄소의 분압변화, 적혈구 수와 마이오그로빈의 양, 확산 가능한 면적들이 있으며, 이 가운데 산소와 이산화탄소의 분압은 대기 중에서의 운동 수행능력과 밀접한 관련성을 가지고 있다[5]. 운동 중 나타나는 다양한 생리적 변인 가운데 산소포화도(SpO<sub>2</sub>)는 전체 혈액소 중 산소와 결합하고 있는 혈액소 백분율(%)로 표시한 것을 의미하며, 운동수행 능력은 산소의 분압(pO<sub>2</sub>)이 증가하면 향상되는 반면 대기압이 증가하면 그 능력이 감소된다[6]. 일반적으로 유산소능력이 우수한 운동선수는 산소 확산능력도 높게 나타나며, 이와 관련된 요인으로는 증가된 심박출량, 증가된 폐포면적, 그리고 호흡막을 통과하는 확산저항의 감소 등이 있다[7]. 일반적으로 운동 중 피험자의 심폐기능을 중심으로 한 신체적정의 분석에 이용되고 있으며 일정한 비율에 의해서 운동 강

Corresponding Author : 김기범

전북전주시 덕진구 덕진동1가 664-14

Tel : +82-63-270-4230 / Fax : +82-63-270-4230

E-mail : kgb70@chonbuk.ac.kr

이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원을 받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/헬스케어기술개발사업단)

도를 검증하는 과정에서 호흡가스변인 및 혈중 변인 등과 같은 생리-생화학적 변인들의 변화에 대한 분석을 적용하는 경우 운동능력의 세부적 분석이 가능하게 된다[8].

따라서 본 연구에서는 자세와 균형을 조절할 수 있는 자전거를 구현하고 자전거의 좌, 우 페달의 길이를 다르게 하여 운행시의 하지 좌, 우의 근육의 활성도를 정량적으로 파악하고 근육의 발달 상황을 측정 하고자 하였으며 운동시 피험자의 호흡가스의 변화에 대하여 살펴보았다.

## II. 실험방법

### A. 자전거 시스템의 구성

Fig. 1은 본 연구팀에서 구현한 자전거 시스템의 구성을 나타낸 그림이다. 하드웨어 시스템은 자전거 본체에 평형감각 훈련 효과를 분석하기 위하여 사용되는 파라미터들을 검출하기 위한 장치부와 피험자의 상태를 피드백 시켜주는 피드백 장치부로 구성되어 있다. 피드백 장치부는 주행방향의 검출부, 상하 좌우 기울임 측정부, 무게중심 변화와 좌우의 무게이동 변화율을 측정하는 측정부로 구성되고 피드백 장치부는 가상 자전거의 부하 제어부로 구성된다. 또한 측정부와 피드백을 제시하는 장치부 모두는 컴퓨터의 리얼리티 엔진(Reality Engine)에 의해 동작한다.

### B. 연구대상 및 방법

실험 대상은 정상 성인(연령  $23.5 \pm 2.4$ 세) 남(신장  $165 \pm 11.1$ cm, 체중은  $65 \pm 4.8$ kg), 여(신장  $155 \pm 7.3$ cm, 체중은  $42 \pm 3.5$ kg) 각각 7명을 대상으로 하였다. 자전거의 좌우 페달의 길이 변화에 따른 하지근육의 발달 정도를 비교하기 위하여 비교군은 좌우측의 페달 길이를 동일하게 하였으며, 실험군의 우측 페달은 160mm 좌측 페달은 120mm로 설정하였다. 비교군과 실험군 모두 10km/h의 속도로 15분간 주행 하도록 하였다. 자전거 운동 중 피험자의 하지

운동 상황을 측정하기 위하여 근전도계(QEMG-4, LAXTHA Inc.)를 사용하였으며, 좌우측의 대퇴직근, 가자미근 근육에 운동 부하전용 전극(F50C, Skintact Co.)을 부착하여 하지 근육의 활동 상황을 측정하였다. 측정되는 하지의 근전도(estimation of intramuscular electromyographic, EMG) 신호는 직렬 통신으로 컴퓨터에 기록된다. 저장된 하지의 근전도 데이터는 텍스트 파일로 변환 후 Labview 7.1을 이용한 직접 제작한 EMG 분석 소프트웨어를 이용하여 하지 근육별 활성화 정도를 분석하였다.

평상시와 운동 중의 호흡가스를 분석하기 위하여 Gas analysis module(AH160, BIOPAC)을 사용하여 호흡가스 내의 산소와 이산화탄소의 비율(%), 분압(mmHg)과 유량을 측정하였다. 또한 Pulse oxymeter trans(EAR-TSD123B, BIOPAC)를 사용하여 혈액 내의 산소포화도를 측정하였다. 측정시간은 평상시와 운동시 각각 15분 동안 측정하여 운동 전후의 호흡가스와 혈중 산소포화도를 분석하였다.

### C. 자료처리방법

통계처리는 SPSS 10.0 통계 프로그램을 이용하여 측정항목에 대한 평균 및 표준편차를 산출하고 운동 전후의 산소포화도를 비교하기 위하여 측정시기를 독립변인으로 하는 two-way reported ANOVA를 실시하였다. 각 변인간의 유의차를 검정하기 위하여 Duncan 방법을 사용하였다. 통계적 유의수준은 5%를 기준으로 설정하였다.

## III. 결과 및 고찰

Fig. 2는 자전거 주행 중 하지근육의 활성도를 나타낸 것이다. 그림에서 근전도 신호의 Power Spectrum 함수의 면적 크기는 근육의 활성화 정도를 의미하며, 면적이 커질수록 근육의 활성도가 높아진다. 실험결과 자전거 운동 후 근육의 활성화도는 비교군과

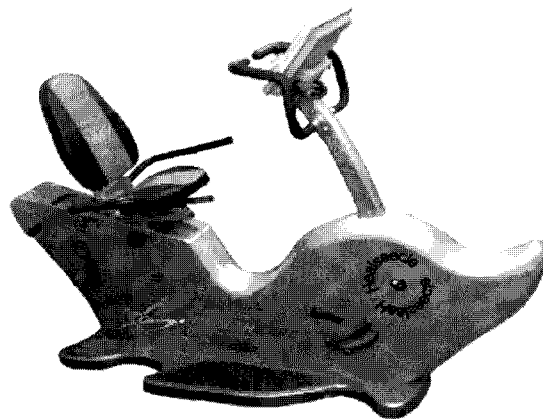


그림 1. 자전거운동시스템.  
Fig. 1. Bicycle training system.

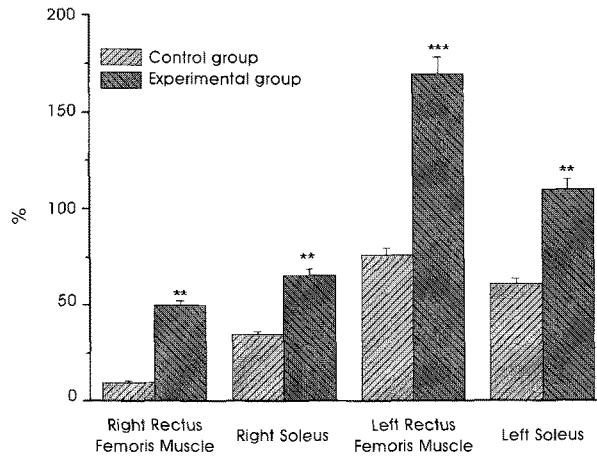


그림 2. 자전거 운동 후 하지근육의 활성도  
 Fig. 2. Activity of limbs muscle after bicycle training. \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.005 vs. control group

실험군 모두 향상되었다. 두 군에서 왼쪽 근육의 활성화도가 오른쪽 근육의 활성화도 보다 더 크게 향상되었다. 페달의 길이를 동일하게 한 비교군에서는 피험자가 정기적인 운동을 하였기 때문에 왼쪽 근육의 활성화를 크게 향상시킬 수 있었다. 또한 페달의 길이를 다르게 한 실험군에서도 왼쪽 근육의 활성화도가 크게 향상되었으며 비교군과 같이 동일한 운동 기간을 실시한 결과 근육의 활성화도는 더 크게 향상시킬 수 있었다. 이와 같은 실험결과에 의하여 자전거 페달의 길이를 다르게 하여 운동을 할 경우 근육의 활성화도를 더 크게 향상시킬 수 있다고 판단된다.

Fig. 3은 자전거 운동 전후 혈중 산소 포화도를 측정 한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 운동 중의 산소포화도는 운동 전의 산소포화도보다 낮은 경향을 보였으며, 운동 전의 평균 산소포화도는 97.3%이었으나 운동 직후의 산소 포화도는 96.4%이었다. 이와 같은 결과는 자전거 운동이 혈액의 산혈증을 유발시키기 때문이다. 여기서 혈중 산소포화도는 전체 혈색소 중 산소와 결합하고 있

는 혈색소를 백분율(%)로 표시한 것을 의미하며 이때 운동수행 능력은 산소분압의 변화할 때 산소포화도의 변화에 의한 영향을 주로 받게 된다. 산소포화도의 변화는 일반적으로 혈액의 pH 감소, 온도 증가, 이산화탄소 분압 증가, 적혈구내의 효소활성도의 변화 등으로부터 영향을 받게 된다. 이와 같은 변화는 이전의 연구 결과에서와 유사하게 환경적 특성의 변화 및 운동 자극 등에 의해서 초래 된다[4]. 자전거 운동 중에 혈액의 산소포화도는 산소농도에 관계없이 감소하게 된다. 그 이유는 운동시 원활한 산소공급을 위한 산소해리능력을 증가시키기 위함이다. 따라서 자전거 운동과 같은 유산소 운동 통해 혈 중 산소포화도의 변화를 줄일 수 있다고 판단 된다.

Fig. 4는 운동 전과 운동 중의 호흡가스에서의 산화와 이산화탄소의 변화를 나타낸 그림이다. 실험에서 운동 전의 산소의 농도가 20~21%로 인체 내의 적절한 산소 농도였으며, 운동 후의 산소 농도가 22~25%로 늘어났음을 알 수 있었다. 또한 이산화탄소의 농

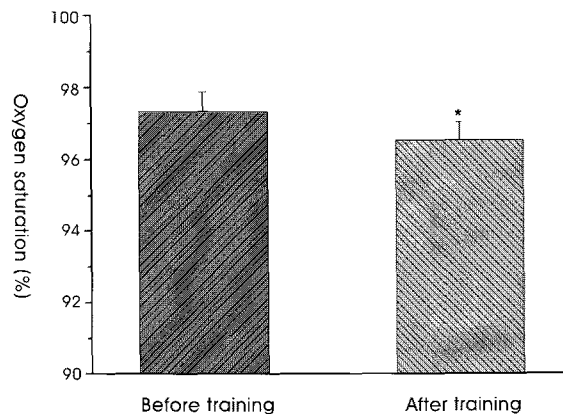


그림 3. 자전거 운동 전·후 산소 포화도의 변화.  
 Fig. 3. Change of oxygen saturation before and after bicycle training. \*p<0.05 vs. before training.

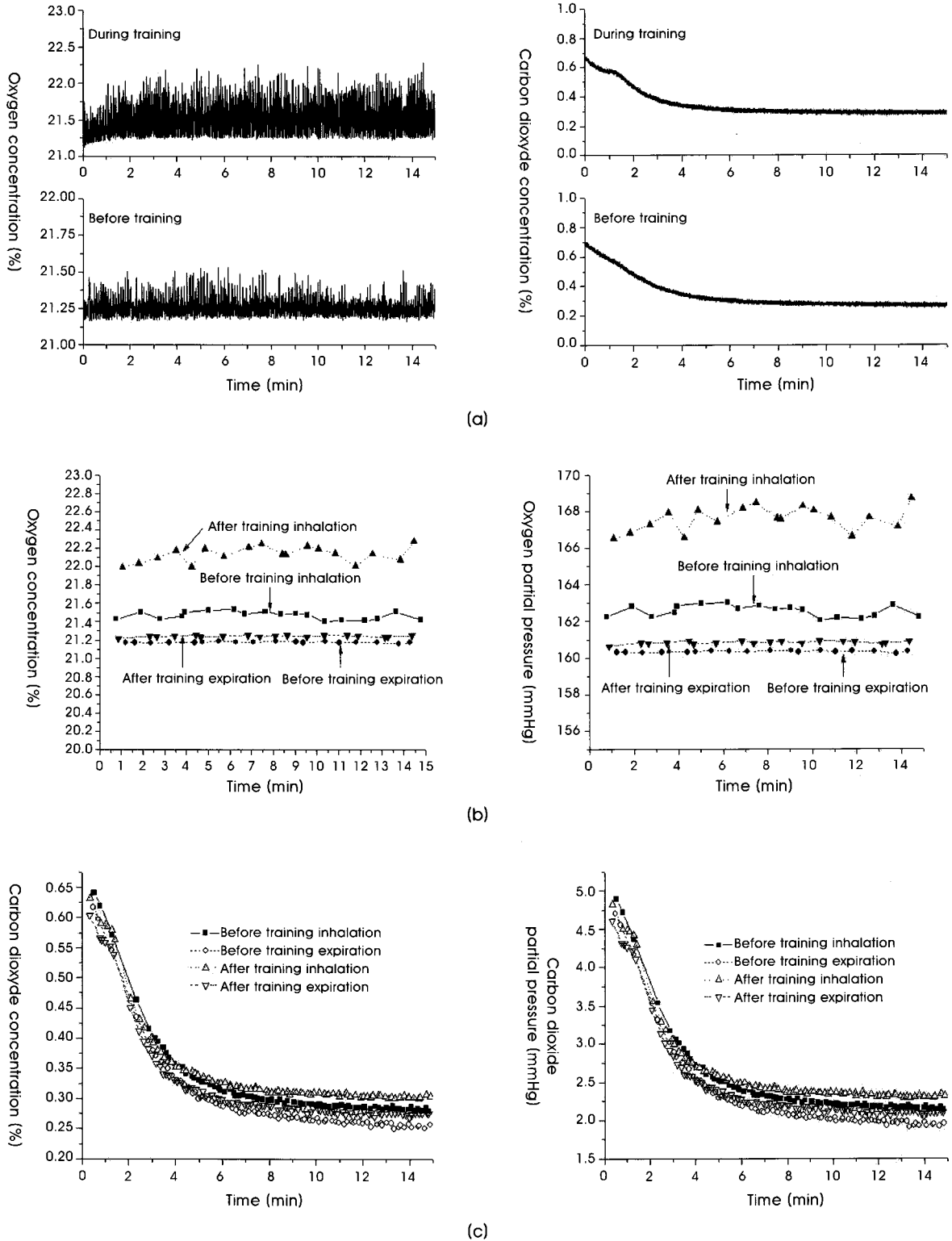


그림 4. 자전거 운동 동안 호흡기스 내에서의 산소와 이산화탄소의 농도변화. (a) 산소와 이산화탄소의 농도, (b) 흡기(들숨)과 호기(날숨)에서의 산소의 농도와 분압, (c) 흡기(들숨)과 호기(날숨)에서의 이산화탄소의 농도와 분압.

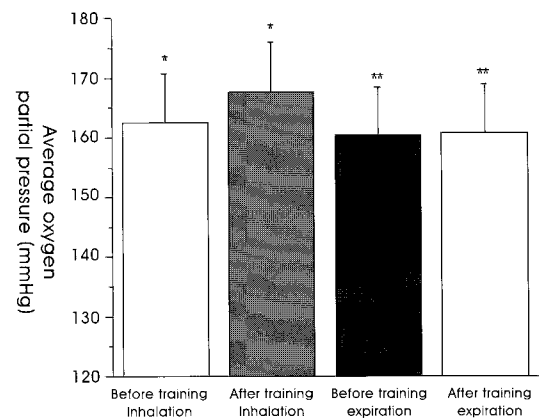
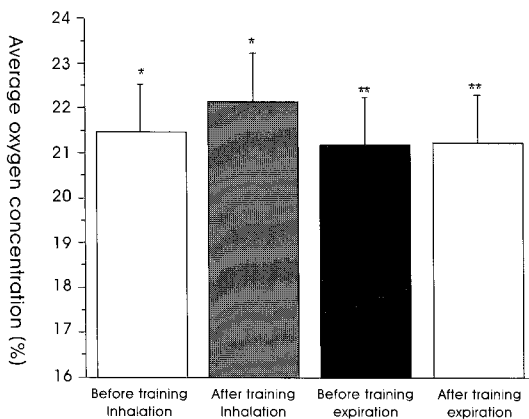
Fig. 4. Change of oxygen and carbon dioxide gas in respiration gas during bicycle training. (a) Change of oxygen and carbon dioxide gas concentration, (b) Change of oxygen gas concentration and partial pressure in inhalation and expiration, (c) Change of carbon dioxide gas concentration and partial pressure in inhalation and expiration.

도가 운동전에는 0.5~1%로 인체 호흡의 표준치가 나왔으며, 운동 후 1%보다 조금 더 높게 증가함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과에 의하여 자전거 운동이 인체 신진대사가 활발하게 일어나는 유산소 운동으로, 일반인을 위한 적당한 운동임을 알 수 있었다.

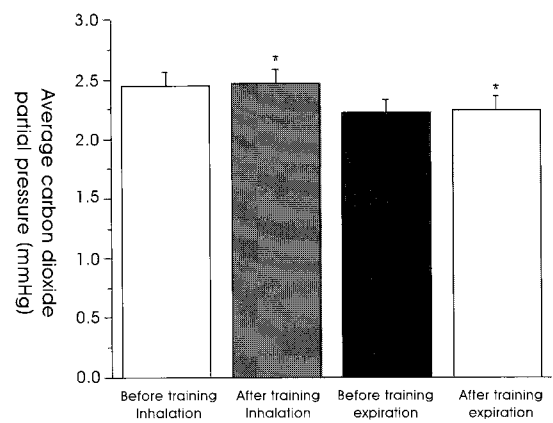
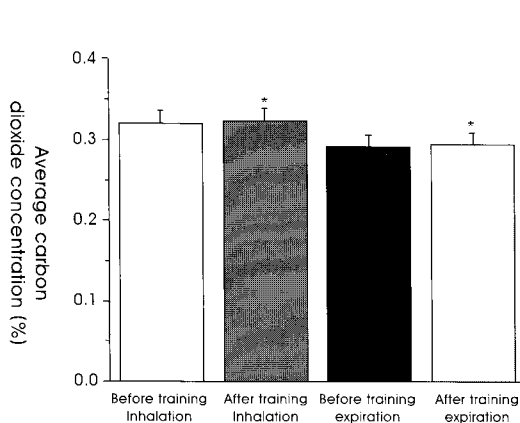
Fig. 5는 운동 전후의 산소와 이산화탄소의 농도와 분압에 대한 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 운동 직후의 산소의 농도 및 분압은 운동 전보다 높게 나타났다. 그 이유는 운동 과정에서 신체 내의 세포(미토콘드리아)들의 내호흡에 필요한 산소가 운동 전(정상 시)의 필요 산소보다 많이 요구되므로 세포들이 필요한 산소를 외호흡을 통하여 얻어야 한다. 그러므로 운동 중과 직후에 피험자의 호흡이 더 빨라지며 빨라진 호흡을 통하여 내호흡에 필요한 산소를 공급 받게 된다. 또한 운동 직후 이산화탄소의 농도와 분압도 증가하였다. 그 이유는 피험자가 운동을 하는 과정에서 근육 세포들이 운동에 필요한 에너지를 소비하게 되는데 이때 운동에 필요한 에너지는 세포들의 내호흡(산화반응)을 통하여 얻게 된다. 그러므로 이와 같은 내호흡 결과 이산화탄소가 증가한

다. 증가된 이산화탄소는 혈액에 전달되고 전달된 이산화탄소는 폐에서 외호흡과정을 통하여 인체 밖으로 배출되기 때문에 이산화탄소의 농도 및 분압은 증가한다.

Fig. 6은 자전거 훈련 전과 훈련 중의 산소와 이산화탄소의 변화를 나타낸 것이다. 그래프에서 운동 전의 호흡은 규칙적이고 느린 반면 운동 후의 호흡은 불규칙적이고 빠름을 알 수 있다. 호흡의 속도를 조절하는 화학물질은 주로 산소와 이산화탄소인데 운동을 하면 폐와 연속적으로 결합해 심장과 다른 기관에서 배출하는 이산화탄소를 제거하고 혈액의 산성화를 막아주는 산소를 많이 필요로 하여 많이 유입되며, 인체 내의 필요 없고 유해한 물질들이 이산화탄소의 형태로 함께 빠져나와 호흡의 이산화탄소의 양도 늘어남을 알 수 있다. 이산화탄소가 뇌의 연수에 많은 양이 지나가게 되면, 연수에서 인체 내의 산소 부족을 알아차리고, 자율신경에 명령을 내려 가로막과 늑간근의 운동을 촉진해 호흡이 빨라지게 된다. 호흡수가 늘어나 폐포에서 산소와 이산화탄소의 기체교환이 활발히 일어나기 때문에 신진대사가 활발해진다.



(a)



(b)

그림 5. 자전거 운동 전·후 산소와 이산화탄소의 농도 비교. (a) 산소, (b) 이산화탄소

Fig. 5. Compare of the oxygen and carbon dioxide concentration before and after bicycle training. (a) Oxygen (b) Carbon dioxide. \* p<0.05 vs. before training

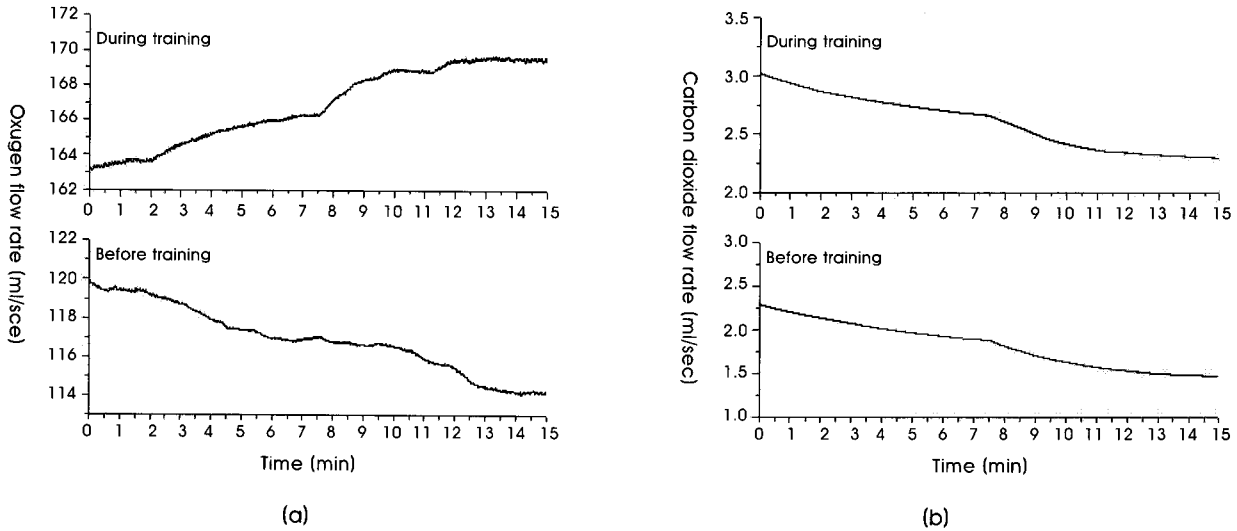


그림 6. 자전거 운동 동안 호흡기스의 흐름 속도 변화. (a) 산소, (b) 이산화탄소.  
 Fig. 6. Change of respiratory gas flow rate during bicycle training. (a) Oxygen, (b) Carbon dioxide.

#### IV. 결론

실험결과 페달의 길이를 짧게 한 좌측 하지 근육의 활성도가 우측에 비해 크게 증가한 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과로 좌우측 근육의 활성도 차이에 의해 자세균형에 문제가 있는 사람들의 치료를 위해서 자전거의 페달의 길이만을 조절하여 운동하게 함으로써 치료 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 운동을 하는 과정에서의 호흡기스의 변화를 측정 한 결과 자전거 운동 직후의 혈액 내의 산소포화도는 감소하였다. 그러나 호흡기스 내 산소와 이산화탄소의 분압은 증가하였다. 이와 같은 결과는 자전거 운동 시 운동에 필요한 에너지를 세포들의 내호흡에 의하여 얻어지는데 이 때 세포들의 내호흡 과정에 많은 산소가 소비되므로 혈액 내의 산소가 감소되어 혈중 산소포화도는 감소한다. 그러나 내호흡에 많은 산소가 요구되므로 호흡내의 산소의 분압은 증가하였다. 또한 세포들의 내호흡 결과 이산화탄소가 발생하는데 발생된 이산화탄소는 외호흡을 통하여 체외로 배출되기 때문에 이산화탄소의 분압은 증가하였다. 이와 같은 결과에 의하여 자전거 운동이 인체 신진대사가 활발하게 일어나는 유산소 운동으로, 일반인을 위한 적당한 운동임을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] S. J. Kim, *Moter learning and Control*, Seoul, Korea: Danhan Media, 2000, pp 161-174.
- [2] T. K. Kwon, Y. I. Yoon, Y. J. Piao, N. G. Kim, "Study on the improvement of postural balance of the elderly using virtual bicycle system," *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 28, no. 05, pp. 609-617, 2007.
- [3] C. A. Shumway, Woollacott H, "Changes in posture control across the life span a system approach," *Phys. Ther.*, vol. 70, pp. 799-807, 1990.
- [4] Jeong Dong-Hoon, and Kwon Hyuk-Cheol, "A study on control of posture and balance," *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, vol. 11. no. 3. pp. 23-36. 1999.
- [5] K. J. Kim, "Changes of blood hormone concentration, blood metabolic parameters, and respiratory gas parameters in longterm submaximal exercise," *Exercise Science*, vol. 6, no. 1, pp. 59-72, 1997.
- [6] J. C. Cook, "Work capacity in hyperbaric environments without hyperoxia," *Aerospce Medicine*, vol. 41, pp. 1133-1155, 1970.
- [7] J. H. Wilmore, and D. L. Costill, *Physiology of sport and exercise* (2nd ed), IL, USA: Human Kinetics, 1999.
- [8] K. J. Kim, "Analysis of the detailed physiological capacity with the graded maximal testing in athletes," *The Korean Journal of Sports Medicine*, vol. 17, no. 1, pp. 115-123, 1999.