

머리하향기울기 자세에서 운동 중 저산소호흡이 심혈관계 반응에 미치는 영향

김경태*, 이대택**, 국민대학교

Influence of Hypoxic Exercise at Head Down Tilt on Cardiovascular Responses

Kim, Kyong-Tae*, Lee, Dae-Taek**, Kookmin Univ.

Abstract

The purpose of this study was to examine the influence of hypoxic exercise at head down tilt (HDT) on cardiovascular responses. Eight men (23 ± 2 yrs, 176 ± 4 cm, and 75 ± 8 kg) underwent four separate exercise testing sessions; seated normoxia (SN), seated hypoxia (SH), HDT normoxia (HN), and HDT hypoxia (HH). Each participant performed the leg cycling at predetermined 40% of maximal aerobic capacity relevant to each posture for 15 min. Heart rate was higher in SH than SN and higher also in HH than SH ($p < 0.05$). Blood oxygen saturation was lower in SH than SN ($p < 0.05$). During resting, diastolic blood pressure and mean arterial pressure was significantly lower in HDT than seated posture ($p < 0.05$). No differences were found between conditions in hemoglobin and hematocrit and electrolytes including, sodium, potassium, and chloride. Lactate was higher in SH than SN. In conclusion, there was no effect for cardiovascular responses to duplicate stimuli both hypoxia and posture.

초 록

본 연구는 미세중력 모델인 머리하향기울기(Head Down Tilt; HDT) 자세에서 운동 중 저산소호흡이 심혈관계 반응에 미치는 영향을 알아보는데 있었다. 8명의 건강한 남성(23 ± 2 세, 신장 176 ± 4 cm, 체중 75 ± 8 kg)은 4가지 조건(앉은 자세에서 정상공기 호흡: SN, 앉은 자세에서 13% 산소호흡; SH, HDT 자세에서 정상공기 호흡; SH, HDT 자세에서 13% 산소호흡; HH)에서 최대산소섭취량의 약 40% 운동강도로 15분간 싸이클링을 실시하였다. 심박수는 SH그룹이 SN그룹보다 높았고($p < 0.05$), HH그룹이 SH그룹보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 혈중산소포화도는 SH그룹이 SN그룹보다 유의한 감소를 나타내었다($p < 0.05$). 이완기혈압($p < 0.05$) 및 평균동맥압($p < 0.05$)은 안정시 앉은 자세에서보다 HDT 자세에서 유의하게 낮아졌다. 체액변인인 Hb, Hct과 전해질 변인인 나트륨, 칼륨, 염소는 모든 그룹에서 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 대사적 변인 중 Lactate는 SH그룹이 SN그룹보다 유의한 증가를 나타내었다($p < 0.05$). 결론적으로, 저산소호흡과 자세의 이중 자극은 심혈관계 반응에 영향을 주지 않았다.

키워드 : Heart rate, Head down tilt, Lactate, Anaerobic metabolism

접수일(2009년 6월 14일), 수정일(1차 : 2009년 6월 17일, 2차 : 2009년 6월 22일, 게재 확정일 : 2009년 7월 1일)

* 국민대학교 / nankt@daum.net

** 국민대학교 / dtlee@kookmin.ac.kr

서 론

한국 최초의 우주인 탄생으로 인하여 우주생리학에 관한 관심과 호기심이 고조되고 있다. 우주생리학에 관한 실험은 우주공간에서 이루어져야 가장 이상적이겠지만 재정적인 문제와 더불어 우주 공간에서 다양한 실험이 직접 이루어지기에는 한계가 존재한다. 따라서 과학자들은 지상에서 사용 가능한 모델로서 상당히 신뢰할 만한 수준의 효과를 나타내는 6° 머리하향기울기(Head Down Tilt; HDT)를 통하여 미세중력(microgravity)에서의 다양한 생리학적 반응을 연구하였다(Prisk et al., 2002; Soubiran et al., 1996; Whitson et al., 1994).

인간이 우주환경에 노출되면 심혈관계 및 체액의 항상성에 변화를 가져온다. 특히 미세중력에서의 주요한 체액변화에는 안면부종(facial edema)이 있고, 머리부분의 혈관내 공간(intravascular spaces) 및 간질공간(interstitial spaces)의 확장을 보인다(Leach, 1987). 또한 인체가 미세중력 환경에 놓여 있을 때에는 혈장량 및 정수압(hydrostatic pressure)의 감소현상이 나타나고, 심장으로 몰려드는 혈액량의 증가로 인하여 심박출량 및 동맥혈압의 상승을 나타낸다(Fritch-Yelle et al., 1994). 게다가 우주여행이나 HDT 자세는 혈관조절기능의 변화를 통하여 인간의 직립내성(orthostatic tolerance)의 감소를 가져오는데(Shoemaker et al., 1998), 이는 인체의 기능적 쇠퇴를 의미하며, 인간은 이러한 우주환경에서 발생되어질 수 있는 부정적인 영향을 줄이기 위하여 운동을 수행한다. 장기간의 우주환경 노출 후의 운동효과로는 근력상실의 방지(Sawin et al., 1975), 최대산소섭취량의 증가(Thornton and Rummel., 1977), 정상혈압의 유지(Capelli et al., 2008) 로서 긍정적인 보고가 이루어졌지만, 현재까지 어떻게 운동해야 하는지에 대한 정확하고 구체적인 제시는 없는 실정이다.

우주공간에서 인간에게 예상되어질 수 있는 또 다른 환경조건에는 저산소호흡과 같이 호흡이 지상에서와는 달리 충분한 산소공급이 정상적으

로 이루어지지 않을 때일 것이다. 공기의 밀도가 낮아지거나 산소의 공급이 줄어들면 인간의 육체적 능력이 감소하는 것으로 알려져 있으며, 저산소증은 근육 교감신경활동의 증가 및 빈맥현상을 유발하고(Hume and Ray, 1999; Monahan and Ray, 2002), 인간에게 다양하고 복잡한 스트레스를 제공한다. 선행연구에서 보면, 저산소에서의 운동은 혈압(Insalaco et al., 1996), 심박수(Savard et al., 1995), 혈중 산소포화도(Favret and Richalet, 2007)의 변화 및 운동수행력의 감소(Katayama et al., 2000)가 보고되어지고 있다. 아직까지 미세중력모델에서 저산소호흡에 대한 연구는 미흡한 실정이고, 더 나아가 추측되어질 수 있는 우주공간에서 낮은 함량의 산소호흡 환경 중에서 운동을 하게 되는 상황은 충분히 발생 가능할 것으로 보여지기 때문에 우주환경에서 인체에 발생되어질 수 있는 문제점의 발견과 해결방안 제시는 의미 있는 일이라 사료되어진다.

본 연구에서는 우주공간에서 발생되어질 수 있는 조건 하에서 운동이 심혈관계반응에 어떠한 영향을 가져오는지에 대하여 알아보는데 그 목적이 있었고, 미세중력이라는 환경적 조건을 충족시키기 위하여 HDT 방법과 저산소호흡을 실시하였다.

연구방법

1. 연구대상

본 연구의 참여 대상자 8명(mean (±Sd): 연령 23±2세, 신장 176±4 cm, 체중 75±8 kg)은 비흡연자이며, 천식 및 폐질환을 앓지 않는 자로서 본 연구를 위해 자원되어졌다. 실험 전 오리엔테이션을 통하여 실험방법에 대한 상세한 설명과 실험도구에 대하여 충분히 인지한 후 참여동의서를 작성하였다. 모든 실험참여자는 실험 24시간 전 실험변인에 영향을 미칠 수 있는 카페인, 알코올섭취 및 힘든 운동을 금지시켰다.

2. 실험설계

모든 실험참여자는 예비검사와 본실험을 수행하였다. 예비검사에서 피험자는 신체적 특성과 최대유산소능력(Qmc, Quinton Inc., 미국)이 평가되었다. 본 실험에서 모든 피험자들은 무작위로 4가지 자세조건(앉은 자세에서 정상공기 호흡: Seated Normoxia(SN), 앉은 자세에서 13% 저산소호흡; Seated Hypoxia(SH), HDT 자세에서 정상공기 호흡; Head Down Tilt Normoxia(HN), HDT 자세에서 13% 저산소호흡; Head Down Tilt Hypoxia(HH)에서 사이클링을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 미세중력모델을 위한 HDT 장비는 머리부분이 하체부분보다 더 낮은 자세에서 놓게 되는 구조를 위해 제작된 특수장비이다. 피험자가 누운 침상(가로 : 30cm, 세로 : 100cm)은 지면을 기준으로 하여 6°이며(Prisk et al., 2002), 격렬한 사이클링 중 피험자가 장비 위에서 밀려나거나 벗어나지 않도록 허리부분 위치에 고정벨트가 장착되었다. 각 실험에서 피험자들은 30분 각 조건의 안정 상태에서 정상공기를 흡입하였으며, 다시 10분간의 지정공기를 흡입 후 15분간의 최대하운동 테스트를 실시하였다.

3. 연구절차

1) 예비검사

예비검사에서 피험자들의 신장(DS-102, 동산제닉스), 체중(150A, CAS), 안정시 심박수(Polar, 핀란드) 및 혈압(수동식 혈압계)을 측정하였다. 심장혈관기능평가를 위하여 최대유산소능력을 실시하였으며, 측정자세는 앉은 자세와 HDT 자세로 각 1 회씩 측정였다. 첫 번째 시도에서는 자전거 에르고미터(Monark 668, 스웨덴)에 수직으로 앉은 자세에서 계속적 점진부하증가법을 적용하였다. 최초 2kp에서 60rpm으로 페달링을 시작하였고, 매 2분마다 1kp를 증가시켜 피험자가 자의적인 탈진 수준에 이를 때까지 진행되었으며, 산소섭취량과 심박수의 측정 및 최대산소섭취량과 최대심박수가 평가되었다. 두 번째 시도에서 모든

HDT 자세에서 앉은 자세에서와 동일한 운동부하방법으로 실시하였다. 앉은 자세와 HDT 자세에서 측정된 최대유산소능력에 의하여 본실험에서 사용될 최대하운동강도가 설정되었다. 최대하운동강도는 심박수와 산소섭취량을 이용하여 개인최대능력의 40%로 설정하였다.

2) 본실험

본실험은 예비실험이 끝난 후 1주일 이내에 실시되었다. 모든 피험자는 본실험 전 10시간 동안의 공복기간을 가진 후 실험실에 도착하였다. 도착 후 모든 실험참여자는 화장실에서 대소변을 배출하였고 맨몸 체중을 측정하였다. 동일한 조건상태를 유지하기 위하여 준비된 반팔 티셔츠와 반바지를 착용하게 하였다. 심박수 측정을 위하여 전자심박측정계를 착용하였고, 혈중 산소포화도 측정을 위하여 맥박산소측정계(pulse oximetry)를 집게손가락에 부착하였다. 실험참여자들은 각 조건이 요구하는 자세로 30분간의 안정기간을 가졌으며 안정 30분 후 10 cc의 혈액이 채취되었으며, 수동식 혈압측정계를 통하여 혈압이 측정되었다. 다시 안정 10분간의 지정공기 흡입 후 혈액채취와 혈압측정이 이루어졌다. 모든 피험자들은 예비검사에서 설정된 강도에 따라 최대하운동을 실시하였으며, 운동직후 안정시와 마찬가지로 혈액채취와 혈압측정이 이루어졌다.

4. 측정변인 및 산출방법

실험이 진행되는 동안 심박수, 산소포화도, 혈압변인이 측정되었다. 전자심박측정계를 이용하여 심박수가 매 1분마다 측정되었고, 혈중산소포화도는 맥박산소측정법으로 검지손가락에서 1분간격으로 측정되었으며, 혈압은 수동적인 방법을 통하여 측정되었다.

채취된 혈액은 전혈을 이용하여 헤모글로빈(Hemoglobin; Hb, HEMOQUE Hb 201+, HemoCue AB, 스웨덴), 적혈구용적(Hematocrit; Hct, microhematocrit method)을 측정한 후, 원심분리를 통해 혈청이 분리되었으며, 동결과정을

거치지 않고 글루코스(Glucose; Glu), 젖산(Lactate; Lac) (EKTACHEM DT60II system, Johnson & Johnson), 나트륨(Sodium; Na²⁺), 칼륨(Potassium; K⁺), 염소(Chloride; Cl⁻) (EKTACHEM DTE system, Johnson & Johnson) 등을 분석하였다.

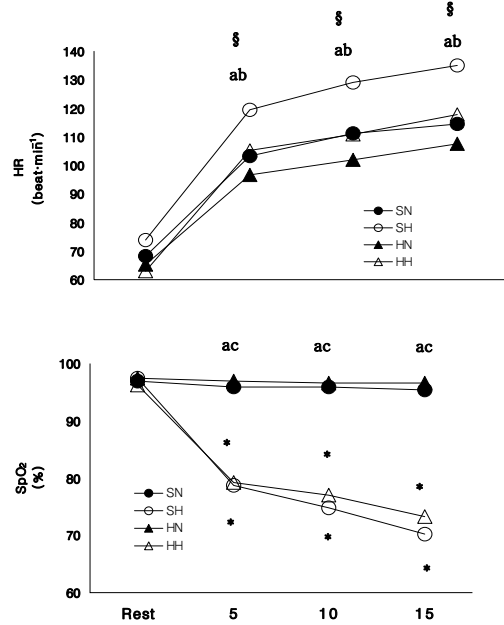
5. 자료처리

본 연구의 자료처리 방법은 SPSS Version 14.0 program을 이용하여 모든 자료의 평균과 표준편차를 산출하였고, 측정된 변인들은 실험조건과 측정시기에 상응하여 이원변량분석을 실시하였다. 각 변인들의 분석 후 통계적 유의성이 나타난 경우 사후검증은 Tuckey를 이용하였으며, 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

연구결과

각 실험조건에 따른 운동중 심혈관계 반응을 나타내는 심박수 및 혈중산소포화도의 변화는 <그림 1>과 같다. 안정시와 비교한 측정시간 심박수 변화는 모든 조건에서 증가하였다 ($p < 0.05$). 특히 SH그룹은 다른 그룹과 비교하여 측정시간 가장 높은 심박수를 나타내었으며, HH그룹 또한 HN그룹과 비교하여 보다 높은 반응을 보였다($p < 0.05$). 혈중산소포화도에서 SN그룹과 HN그룹은 정상범위를 유지하였으며, SH그룹과 HH그룹은 안정시와 비교하여 측정시간 유의한 감소를 나타내었으며($p < 0.05$), SN 및 HN 그룹과 비교하여 역시 유의한 감소 양상을 나타내었다($p < 0.05$). 특히 SH그룹은 운동직후 70%까지 감소하였다.

<그림 2>는 실험 중 혈압의 변화를 나타내고 있다. 안정 I 은 각 조건에서 주어진 자세에서 30분간의 안정기간이며, 안정 II는 각 자세조건에서 10분간의 지정공기 흡입기간이다. 안정 I 및 안정 II와 비교한 운동직후의 수축기, 이완기, 동맥혈압 변화는 모든 조건에서 증가하였지만($p < 0.05$),

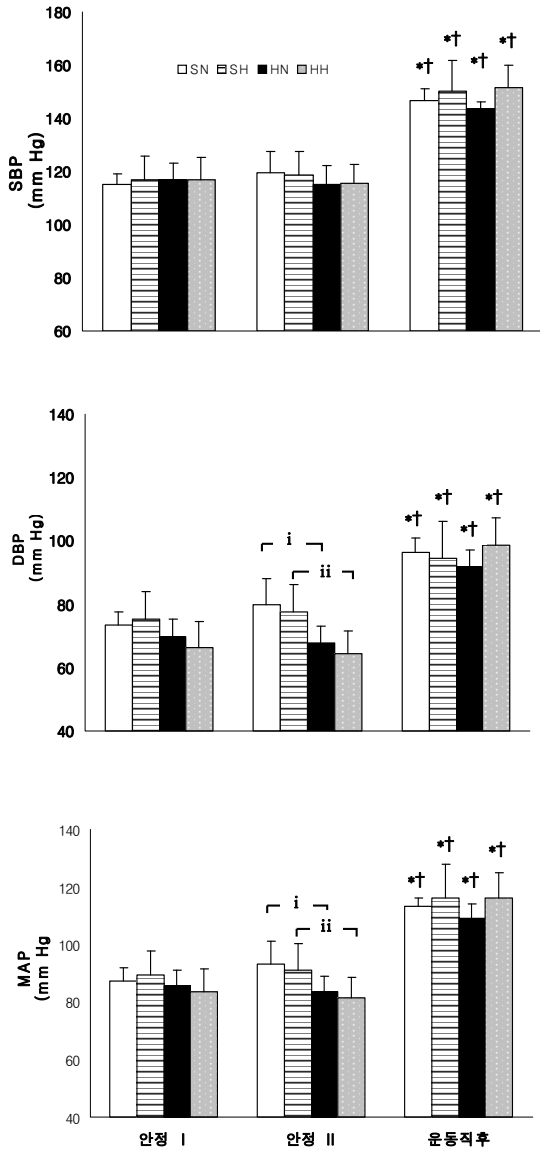


- a : SN vs SH($p < 0.05$)
- b : SH vs HH($p < 0.05$)
- c : HN vs HH($p < 0.05$)
- * : 안정시와 측정시간의 유의도($p < 0.05$)
- § : 안정시와 모든 그룹의 측정시간 유의도($p < 0.05$)

그림 1. 심박수 및 혈중산소포화도의 변화

안정 I 과 안정 II 사이에는 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 수축기혈압은 각 그룹간 차이를 나타내지 않았지만, 안정 II에서 이완기혈압 및 평균동맥압은 SN그룹과 SH그룹이 HN그룹과 HH그룹보다 유의하게 감소하였다. 체액변인 및 전해질의 변화는 <표 3>에 나타난 바와 같다. 체액반응 및 전해질반응은 안정시와 비교한 운동직후 모든 조건에서 유의한 차이를 나타내지 않았으며 ($p > 0.05$), 각 그룹간에도 차이가 없었다($p > 0.05$).

각 실험조건에 따른 대사변인의 변화는 <표 4>에 나타난 바와 같다. Glu는 안정시와 비교하여 운동직후 유의한 증가를 나타내지 않았으나 ($p > 0.05$), Lac는 모든 조건에서 운동직후 유의한 증가를 나타내었으며($p < 0.05$), 특히 SH그룹이 SN그룹보다 높은 반응을 나타내었다($p < 0.05$).



i : SN vs HN(p<0.05)

ii: SH vs HH(p<0.05)

* : 안정 I 과 운동직후간의 유의도(p<0.05)

† : 안정 II 와 운동직후간의 유의도(p<0.05)

그림 2. 혈압의 변화

표 1. 체액변인 및 전해질의 변화 (M±SD)

변인	그룹	안정시	운동직후
Hb (mg/dL)	SN	15.4±1.3	15.9±1.6
	SH	15.0±1.4	15.8±0.8
	HN	14.9±0.9	15.3±1.0
	HH	14.8±1.0	15.4±0.6
Hct (%)	SN	46.5±2.2	46.6±2.1
	SH	46.6±2.3	46.8±2.2
	HN	46.3±2.2	46.6±2.4
	HH	46.5±2.0	47.0±1.9
Na ²⁺ (mg/dL)	SN	141.5±4.5	142.4±1.8
	SH	143.8±7.4	144.0±4.0
	HN	144.9±1.4	145.0±1.5
	HH	144.0±2.0	143.8±1.3
K ⁺ (mg/dL)	SN	4.3±0.2	4.5±0.4
	SH	4.3±0.2	4.7±0.2
	HN	4.2±0.3	4.7±0.4
	HH	4.1±0.2	4.4±0.1
Cl ⁻ (mg/dL)	SN	108.6±1.8	107.6±2.6
	SH	110.1±4.0	109.3±2.4
	HN	109.5±1.8	109.4±1.7
	HH	108.1±3.4	110.0±1.7

표 2. 대사적 변인의 변화 (M±SD)

변인	그룹	안정시	운동직후
Lac (mg/dL)	SN	2.4±0.6	2.8±1.0*
	SH	2.1±0.4	4.9±2.2 ^a
	HN	2.2±0.5	2.6±0.7*
	HH	2.3±0.5	3.6±1.4*
Glu (mg/dL)	SN	118.6±32.6	113.6±26.7
	SH	115.0±20.7	100.3±11.3
	HN	122.0±35.3	106.0±20.8
	HH	114.6±24.5	98.8±9.3

* 안정시와 운동직후간 유의도 (p<0.05)

^a SN그룹과 SH그룹간의 유의도 (p<0.05)

논 의

본 연구에서는 우주공간에서 발생되어질 수 있는 환경 및 활동조건이 인체의 생리적 반응에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보는데 그 목적이 있었다. 결과에 따르면 저산소호흡시 운동은 심혈관계반응과 대사적 반응에 영향을 미쳤으며, 미세중력모델을 이용한 HDT 자세에서는 아무런 영향이 없는 것으로 나타났다.

저산소 환경의 지속적인 자극은 혈중 산소포화도를 감소시키고, 인체는 일시적으로 심박출량을 증가시키므로써 부족한 산소공급량을 충당하려는 노력을 하게 된다(Grover et al., 1986). 더욱이 본 연구에서와 같이 운동이라는 추가적 자극은 더욱 많은 심박출량의 증가현상과 함께 산소공급이 요구되어졌을 것이다. 본 연구의 모든 피험자에게서 앓은 자세에서 운동 중 저산소 호흡시 정상공기 호흡시보다 심박수 증가 양상을 보인 것은 혈중 산소함량의 감소(70%)와 교감신경활동 증가 때문이다(Halliwill and Minson, 2002). 반면, HDT 자세에서 운동 중 저산소호흡은 심박수에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났는데, 이는 앓은 자세에서와 비교했을 때 절대적 운동강도가 낮았기 때문에 나타난 결과로 보여진다. 또한 누운 자세에서는 앓은 자세에서보다 충분한 심장으로의 혈류이동 및 공급을 가져와서 HDT 자세에서의 저산소운동시 심박수의 상승을 가져오지 않았을 것으로 보인다.

운동은 이산화탄소분압의 증가 및 pH의 변화에 따른 대뇌혈관직경 확장을 유발하며, 그에 따라 조절된 대뇌혈류량은 혈압반응에 영향을 미칠 수 있다(Querido and Sheel, 2007). 하지만 본 연구에서는 자세와 호흡조건은 혈압반응에 영향을 주지 않았다. 한편 본 연구결과에서 HDT에서 안정시에 수축기혈압을 제외한 이완기혈압 및 평균동맥압 모두 감소하는 경향을 나타내었는데, Loepky et al (1990)의 HDT 자세에서 이완기혈압을 감소시킨다는 보고와 일치함을 나타내었다. 하지만 저산소호흡은 혈압반응에 영향을 주지 않는 것으로 보인다.

체액의 수분과 전해질은 적당량의 섭취와 배설에 의하여 일정한 평형을 유지하지만, 운동은 열생산과 열손실간의 균형을 변화시켜 체온상승과 발한을 통하여 체액손실을 유발한다(Sawka et al., 1996). 격렬한 지구성 운동과 트레이닝은 적혈구 크기의 변화 없이 Hct의 감소와 운동성 빈혈로 인한 혈장량의 증가 현상을 가져오며(Fellmann, 1992), 혈청 나트륨 및 칼륨의 유의한 변화를 가져올 수 있다(Nelson et al., 1989). 장시간에서의 HDT 자세는 적혈구 및 Hb농도의 증가에 의하여 혈액농축(hemoconcentration)을 발생시킨다(Lampe et al., 1992). 반면, 본 연구에서는 HDT 자세에서의 운동 중 체액손실을 유발하지 못하였는데, 이는 15분의 짧은 운동결과로 인하여 체액방출이 이루어지지 않은 것으로 보여지며, 혈액량 및 혈액성분의 변화도 가져오지 않았다. 우주비행 중 관찰된 골감소(bone narrow)가 새로운 적혈구 생성의 결핍을 유발할 수 있음을 고려할 때(Alfrey et al., 1996), 향후 다른 운동시간 및 운동강도를 적용한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

젖산의 증가는 산소부족에 의한 대사에너지 기질 사용의 변화이거나 생성된 젖산의 분해나 제거가 원활하게 이루어지지 않아 발생할 수 있다(이대택 등, 2007). 본 연구에서와 같이 앓은 자세에서의 운동 중 저산소호흡이 정상공기에서보다 유의한 젖산 증가 양상을 나타내었는데, 그 이유는 산소부족현상에 기인한다. 이와 유사한 결과로써 Sandoval and Matt (2003)은 저산소호흡에서의 운동은 정상호흡시보다 젖산 및 글루코스 수준의 보다 많은 증가를 가져온다고 보고하고 있다.

결 론

본 연구의 결과를 토대로, 앓은 자세에서 13% 산소농도호흡호흡과 저강도 운동은 혈중산소포화도의 감소와 심박수 증가를 가져오며, 그에 따라 젖산의 증가를 야기시켰다. 하지만 HDT 자세에서는 관계가 없는 것으로 나타났다. 결론적으로,

저산소호흡과 자세의 이중자극은 심혈관계반응에 영향을 주지 않았다.

참고문헌

1. 이대택, 서용석, 차광석(2007). 머리하향기울기 자세에서 운동 중 더위자극과 저산소호흡이 체온, 체액, 대사반응에 미치는 영향.
2. Alfrey, C. P., Udden, M. M., Huntoon, C. L., & Driscoll, T. (1996). Destruction of newly released red blood cells in space flight. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 42-44.
3. Capelli, C., Antonutto, G., Cautero, M., Tam, E., & Ferretti, G. (2008). Metabolic and cardiovascular responses during sub-maximal exercise in humans after 14 days of head-down tilt bed rest and inactivity. *European Journal of Applied Physiology*, 5, 212-220.
4. Favret, F., & Richalet, J. P. (2007). Exercise and hypoxia: the role of the autonomic nervous system. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 30, 280-286.
5. Fellmann, N. (1992). Hormonal and plasma volume alteration following endurance exercise. *Sports Medicine*, 13, 37-49.
6. Fritsch-Yelle, J. M., Charles, J. B., Jones, M. M., Beightil, L. A., & Eckberg, D.L. (1994). Spaceflight alters autonomic regulation on arterial pressure in human. *Journal of Applied Physiology*, 77, 1776-1783.
7. Grover, R. F., Weil, J. V., & Reeves, J. T. (1986). Cardiovascular adaptation to exercise at high altitude. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 14, 269-302.
8. Halliwill, J. R., & Minson C. T. (2002). Effect of hypoxia on arterial baroreflex control of heart rate and muscle sympathetic nerve activity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 857-864.
9. Hume, K. M., & Ray, C. A. (1999). Sympathetic responses to head-down rotations in humans. *Journal of Applied Physiology*, 86, 1971-1976.
10. Insalaco, G., Romano S., Salvaggio, A., Braghiroli, A., Lanfranchi P., Patrino, V., Donner, C. F., & Bonsignore, G. (1996). Cardiovascular and ventilatory response to isocapnic hypoxia at sea level and at 5,050 m. *Journal of Applied Physiology*, 80, 1724-1730
11. Katayama, K., Sato, Y., Morotome, Y., Shima, N., Ishida, K., Mori, S., & Miyamura, M. (2000). Cardiovascular response to hypoxia after endurance training at altitude and sea level and after detraining. *Journal of Applied Physiology*, 88(4), 1221-7.
12. Lampe, L., Wienhold, K., Meyer, G., Baisch, F., Maass, H., Hollmann, W., & Rost, R. (1992). Effects of simulated microgravity (HDT) on blood fluidity. *Journal of Applied Physiology*, 73(4), 1366-1369.
13. Leach, C. S. (1987). Fluid control mechanisms in weightlessness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 58, 74-79.
14. Loeppky, J. A., Scotto, P., Chick, T. W., & Luft, U. C. (1990). Effect of acute hypoxia on cardiopulmonary responses to head-down tilt. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 61, 785-794.
15. Monahan, K. D., & Ray, C. A. (2002). Limb neurovascular control during altered otolithic input in humans. *Journal of Physiology*, 538, 303-308.

16. Nelson, P. B., Ellis, D., Fu, F., Bloom, M. D., & O'Malley, J. (1989). Fluid and electrolyte balance during a cool weather marathon. *American Journal of Sports Medicine*, 17, 770-772.
17. Prisk, G. K., Fine, J. M., Elliott, A. R., & West, J. B. (2002). Effect of 6 degree head-down tilt on cardio pulmonary function: comparison with microgravity. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 73, 8-16.
18. Querido, J. S., & Sheel, A. W. (2007). Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports Medicine*, 37(9), 765-782.
19. Sandoval, D. A., & Matt, K. S. (2003). Effects of the oral contraceptive pill cycle on physiological responses to hypoxic exercise. *High Altitude Medicine and Biology*, 4(1), 61-72.
20. Savard, G. K., Areskog, N. H., & Saltin, B. (1995). Cardiovascular response to exercise in humans following acclimatization to extreme altitude. *Acta Physiologica Scandinavica*, 154(4), 499-509.
21. Sawin, C. F., Rummel, J. A., & Michael, E. L. (1975). Instrumented personal exercise during longduration space flighe flighe flighpace, and *Environmental Medicine*, 46, 394-400.
22. Sawka, M. N., Wenger, C. B., & Pandolf, K. B. (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise-heat stress and heat acclimation. In: *Handbook of Physiology, Section 4: Environmental Physiology*, C. M. Blatteis and M. J. Fregly. New York: Oxford University Press for the American Physiological Society, 157-186.
23. Shoemaker, J. K., Hogeman, C. S., Silber, D. H., Kristen, G., Michael, H., & Sinoway, L. I. (1998). Head-down tilt bed rest alters forearm vasodilator and vasoconstrictor responses. *Journal of Applied Physiology*, 84, 1756-1762.
24. Soubiran, C., Harant, I., de Glisezinski, I., Beauville, M., Crampes, F., Riviere, D., & Garrigues, M. (1996). Cardio-respiratory changes during the onset of head-down tilt. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 67(7), 648-653.
25. Thornton, W. E., & Rummel, J. A. (1977). Muscular deconditioning and its prevention in space flight. In RS., Johnson & SF. Dielein(Eds). *Biomedical results from Skylap. National Aeronautics and Space Administration*, 33, 191-197.
26. Whitson, P. A., Cintron, N. M., Pietrzyk, R. A., Scotto, P., & Loepky, J. A. (1994). Acute effects of head-down tilt and hypoxia on modulators of fluid homeostasis. *Journal of Clinical Pharmacology*, 34(5), 427-433.