

가상환경에서 VDU와 HMD에 대한 생리학적 영향에 관한 연구

이창민[†] · 박시현

동의대학교 산업공학과

Physiological Effects of the VDU & HMD in Virtual Environments

Chang-Min Lee · Shi-Hyun Park

Department of Industrial Engineering, Dongeui University, Busan, 614-714

The focus of this study is to investigate how personal display systems - a VDU (Visual Display Unit) and an HMD (Head Mounted Display) physiologically affect the body in virtual environments, and to evaluate differential effects of using the VDU and the HMD on physiological responses to mental stressful tasks (virtual reality flight simulation).

As physiological variables, autonomic measures (heart rate, blood pressure), immune cells (leukocyte, neutrophil, lymphocyte), and hormones (catecholamine) were measured before and after experiments. Physiological data were measured in order to compare a level of mental stress on the VDU and the HMD. Increments in blood pressure (systolic ($p < 0.05$), diastolic ($p < 0.1$)), norepinephrin (catecholamine) ($p < 0.005$), and neutrophils ($p < 0.2$) of the group using the HMD showed a significant difference with the group using the VDU. Although, the heart rate was not statistically significant between two environments, differences of them quietly increased on the HMD more than on the VDU.

Keywords: HMD, VDU, mental stress, immune cells, hormones

1. 서론

1.1 실험 배경

가상현실(Virtual Reality)장치는 보편적인 입력 장치나 모니터와 같은 전형적인 인터페이스 방식의 장치보다 컴퓨터와 사용자 간에 더욱 효율적인 상호작용(interaction)을 제공한다. 이러한 구현방식은 3차원 그래픽을 활용한 상호작용을 통하여 현실성(Reality)을 극대화시키고, HMD(Head Mounted Display), DataGlove와 같은 인터페이스 장치에 센서를 부착하여 시뮬레이션 등에 이용된다. 이러한 차세대 가상환경(VE : Virtual Environment) 시스템은 매우 유망한 기술이지만, 가상환경(VE)의 유

용성 면에서는 근본적으로 잠재적인 위험이 존재하고 있다.

일부 사용자들은 때때로 가상 시뮬레이션이 진행되는 동안 각종 부작용을 경험하게 되는데, 이러한 현상을 simulator sickness라고 정의하고 있으며, motion sickness라고도 한다. 이러한 simulator sickness와 motion sickness에 대한 연구는 가상현실(VR)에서의 각종 부작용에 대한 좋은 연구배경이 되고 있다 (Kolasinski, Eugenia M., 1995).

특히 HMD가 적용된 가상현실 시스템은 특수 작업자들과 비행조종 및 제어, 그리고 각종 무기 시스템 사이에서 상호 연관되어 발전되어왔다(Bachen, E.A, *et al.*, 1992).

3차원 가상현실이 구현되는 과정에 대하여 살펴보면, 우선 가상환경(VE)을 구성하는 이미지 영상이 HMD를 통해 나타나

본 논문은 동의대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

[†]연락처 : 이창민 교수, 614-714 부산시 부산진구 가야동 산24 동의대학교 산업공학과, Fax : 051-890-1619, e-mail : cmlee@dongeui.ac.kr
2002년 8월 접수, 1회 수정 후 2003년 4월 게재 승인

게 되고, 이에 대한 제어는 Joystick 형태나 마우스와 같은 입력 장치를 통하여 수행된다. 이러한 가상현실(VR) 구현 시스템은 시뮬레이션 분야와 모의훈련 분야에서 광범위하게 활용되고 있으나, 이러한 다양한 장점에도 불구하고 가상현실(VR) 시스템에는 많은 잠재적 부작용이 내포되어 있다(Lo, W.T., Richard, H.Y., 2001). 이와 관련하여 최근 가상현실(VR) 장비에 대한 육체적, 생리학적, 심리학적 부작용에 대한 다양한 연구가 수행되어 왔다(Howarth, P.A., Costello, P.J., 1997; Nichols, Sarah, 2000; Nelson, W. Todd, *et al.*, 2000).

그간의 연구를 통하여 많은 연구자들은 가상현실(VR) 체험 간 부정적인 증상이 경험되고 있음을 제시하고 있다. 즉, Joseph (2000)의 연구에서는 눈의 피로나 두통과 같은 증상이 제시되었고, Regan과 Price(1993)의 연구에서는 전체 피실험자 중 61%가 가상환경(VE)에 20분 정도 노출된 뒤 각종 부정적 증상이 나타났다고 밝혔다. Stanney(1997)와 Cobb(1999)의 연구에 따르면 HMD를 기반으로 한 가상현실 실험에 있어서, 가상현실 시뮬레이터를 사용한 피실험자들과 일반(non-VR) 시뮬레이터를 사용한 피실험자들 간에 유의한 차이가 있음을 제시했다. 상기와 같은 대부분의 연구들은 세 가지 요소(simulator, task, individual factors)에 관한 설문지와 각종 이론을 이용한 정성적 연구를 통하여 simulator 및 motion sickness를 분석하였다. 그러나 본 연구에서는 이러한 가상환경이 인체에 미치는 영향에 대한 좀더 정량화된 평가를 수행하기 위하여 다양한 생리학적 실험 인자들을 채택하였다. 가상환경으로 인한 각종 증세들은 과도한 스트레스로 인해 발생하는 생리학적 현상이므로, 이러한 증세를 유발하는 생리학적 인자들에 대한 분석을 수행함으로써 인체에 미치는 영향을 평가할 수 있다. 이는 설문지와 같은 피실험자의 주관에 의존하기보다는, 실험에서 얻어지는 생리학적 데이터를 분석함으로써 가상환경이 인체에 미치는 영향을 좀더 객관적으로 평가할 수 있었다.

1.2 정신적 스트레스에 대한 생리학적 반응

스트레스의 개념은 일반적으로 중앙신경계와 관련된 신체적 요구에 대한 반응으로 정의될 수 있다. 스트레스는 인간의 면역반응에 있어서 변화를 야기시키는 것으로 알려져 있다(Ahn, Sung Hee, 1996).

Manuck(1992)와 Bachen(1992) 연구팀에 따르면 심전도와 호르몬 반응에 있어서 높은 수치를 가진 사람들은 스트레스에 대한 면역변화가 더 크게 나타났다. 이것은 스트레스가 인간을 약화시킨다는 증거가 되는 것으로 밝혀지고 있다. 또한, 최근 연구 자료에서는 열악한 환경 조건이나 다양한 심리적 스트레스로 인하여 호르몬(카테콜라민 : 노어에피네프린과 에피네프린)의 분비가 유발된다고 한다(Korf, J., *et al.*, 1973).

1.3 실험 목적

본 연구의 목적은 가상환경 구현을 위한 기본 장비인 HMD

작용 시 인체에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 하였다. 이를 위한 대조군으로는 일반 모니터와 같은 VDU(Visual Display Unit) 상에서 동일한 실험을 수행하였다. 결국, 동일한 실험환경하에서, HMD 사용으로 인한 스트레스 반응과 VDU 사용으로 인한 스트레스 반응값들을 통계학적으로 비교함으로써 일반 VDU 작업과 HMD 작업으로 인한 생리적 스트레스 반응 간의 유의한 차이점을 분석해 보고자 하였다.

이와 관련한 각종 연구자료에 따르면 정신적 스트레스는 면역세포와 호르몬계에 영향을 미친다고 보고되어 있다(Birt, J.A., Furness, T.A., 1974; Cho, Gyung Suk, 1998). 또한 신체적, 정신적 작업 수행 시 스트레스에 의한 생리학적 반응이 발생하기 때문에, 스트레스로 인한 생리학적 반응은 호르몬 분비나 심박수(heart rate)와 같은 자율신경계 반응의 차이를 측정함으로써 증명할 수 있다고 하였다(Rodahl, Kaare, 1989).

따라서, 본 연구에서는 정신적 스트레스가 면역계와 내분비 활동 간의 연관이 있음을 밝힌 각종 연구를 기반으로, 가상환경을 위한 대조군으로는 일반 모니터와 같은 가상환경 구현을 위한 HMD 환경에서의 스트레스 반응과, 일반적인 VDU 환경하에서의 스트레스 반응 정도를 비교, 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 설계

두 가지 실험 조건으로 비몰입형(non-immersive) VDU 환경과 몰입형(immersive) HMD 환경이 적용되었다. 조건 모두 피실험자는 30분 동안 3차원 가상 비행 시뮬레이션을 수행하였다.

HMD는 Liquid Image™의 headset을 사용하였다. 본 장비는 VR headset로 최근 사용되는 개인용 디스플레이 시스템(PDS)의 대표적인 장비이며, 실험에 사용되는 가상현실 구현 시뮬레이터는 VRheadset과 잘 호환이 되는 것으로 선택되었다. VDU 작업은 HMD 작업이 인체에 미치는 영향을 분석하기 위한 대조군으로서 사용되었다.

실험 간 일일 생체리듬(circadian rhythm)과 일일 변수(diurnal variations)와 같은 각종 외부 인자로부터의 간섭을 최소화하고 반복 수행에 따른 적응을 최소화하기 위하여, 각 실험 전 대기 조건과 실험 간 지속시간을 동일하게 적용하였으며, 각 실험은 동일한 시간대에 수행되었다. 또한 실험군과 대조군 간의 실험 일정을 분리함으로써 실험 간의 간섭을 최소화하였다. 본 실험을 위한 종속변수로는 VDU와 HMD 하에서의 실험 간 측정된 피실험자의 생리학적 변화였다.

2.2 피실험자

피실험자로는 색약과 색맹이 없으며 과거 병력이 없는 7명의 건강한 남성으로 선정되었다. 피실험자의 평균 나이는 26세였다(21~30세). 본 실험은 사전에 피실험자의 동의와 실험과

정에 대한 이해를 숙지시킨 후 수행되었다.

2.3 장비

가상환경 구현을 위한 실험장비로는 펜티엄 PC, 17인치 모니터, MRG-3c HMD, 비행용 조이스틱이 사용되었으며 가상공간을 구현하기 위한 시뮬레이션으로는 3차원 비행 시뮬레이션 (Crimson skies, Microsoft)을 사용했다(<표 1>). 피실험자들은 자신의 의지에 따라 가상공간 내를 비행하며 특정한 임무를 수행하도록 하였다(<그림 1>).

피실험자들은 좌석에 착석하여 자유로운 움직임이 가능하도록 하였으며, 조정장치로는 비행용 조이스틱이 사용되었다.

표 1. 실험장비

Virtual Reality System	<ul style="list-style-type: none"> • Pentium II 233 PC • 17 inch standard Monitor • MRG-3C Head Mounted Display (Liquid Image co.) • 3D Joystick (Microsoft co.)
Virtual Environment	<ul style="list-style-type: none"> • Flight Simulation Game - Crimson Skies (Microsoft Co.)
Measurement	<ul style="list-style-type: none"> • Heart rate Monitor (digital) - Polar vantage XL. (Polar Electro Oy co.) • Blood Pressure Monitor (digital) - UA-767 (A&D co.) • Hormone(Catecholamine) Analysis - applied to Ewon Reference Laboratory • Blood(Leukocyte) Analysis - applied to Moonhwa Hospital Clinical Laboratory



그림1. HMD를 착용한 실험환경.

2.4 측정

실험을 통한 데이터를 측정하기 위하여 각 조건하에서 물입 기간 전후에 기록된 값의 차이를 생리학적 영향으로 평가하였다. 생리학적 데이터는 크게 세 분류로 나누어진다. 자율신경계 반응(autonomic response)으로는 심박수(heart rate)와 혈압(수

축기와 이완기)이 측정되었으며, 심박수는 전자 심박수 모니터를 사용하였고, 혈압은 자동 혈압 모니터를 사용하여 실험 수행 동안 실시간으로 측정되었다. 면역계 반응으로는 백혈구(leukocytes)와 호중구(neutrophil), 림프구(lymphocyte) 수를 측정하였으며, 호르몬 수치인 경우 카테콜라민(Catecholamine: 에피네프린, 노어에피네프린) 수치가 측정되었다. 이는 실험 전후로 채취한 혈액 샘플에 대한 분석을 통하여 얻어졌다. 실험 수행을 위한 환경 구축 외에 생리학적 데이터 샘플 채취 및 분석은 모두 해당 전문기관에 의해 수행되어 졌다. 호르몬 인자로 선정된 카테콜라민 수치(Plasma level)는 호르몬 분석이 가능한 이원 의료센터에 분석, 의뢰하였으며, 면역계 관련 혈액인자들에 대한 수치측정은 문화병원 병리학과에 분석, 의뢰하였다. 또한 실험 간 자율신경계 반응(혈압)과 혈액 샘플링은 현직 병리학사와 간호사에 의해 직접 수행되었다.

2.5 실험 절차

실험에 앞서 피실험자들은 시뮬레이션에 대한 숙달을 위하여 충분한 숙지와 훈련을 수행하였다. 이는 실험 간 반복 수행으로 인한 적응을 사전에 예방하기 위함이었다. 실험에 들어가기에 앞서 피실험자들의 신체적, 정신적 상태를 확인하였으며 각 실험 전 한 시간 동안 안정을 취했다. 이는 외부 인자에 의한 생체 수치의 간섭을 최소화하기 위함이었다. VDU 환경으로는 피실험자와 모니터가 36cm 떨어진 상태에서 가장 안정적인 자세로 실험에 임하도록 하였다.

HMD 환경으로는 피실험자들이 충분히 착용법을 숙지한 후에 최적의 상태로 headset을 착용하였다. 호르몬과 면역세포의 변화도를 측정하기 위한 혈액 샘플은 실험 전과 후 두 차례 채취되었다. 혈액 샘플링에 따른 피실험자들의 심리적 불안감을 최소화하기 위하여 채취용 주사 노즐의 경우 최소치(23 gauge)를 사용하였다. 혈압 측정을 위하여 전자 혈압계의 커프(cuff)가 팔에 부착되었고, 심박수 측정을 위한 센서는 피실험자 가슴에 정확히 부착되었다.

실험에 앞서, 평상시 심박수와 혈압을 측정한 후 첫 번째 혈액 샘플링을 수행하였다. 그러나 수축기 혈압(Systolic blood pressure)과 이완기 혈압(diastolic blood pressure), 심박수는 실험 수행 간 지속적으로 측정되었다. 실험은 30분 동안 수행되었으며, 실험이 종료된 후, 두 번째 혈액 샘플링이 수행되었다(<그림 2>).

2.6 데이터 분석

두 환경으로 인한 생리학적 영향에 대한 차이를 구분하기 위하여, HMD 환경에서의 생리학적 변화는 대조군인 VDU 환경에서의 변화와 비교되었다. 변화량의 분석은 두 집단의 실험 전후 데이터 차이를 분석하였으며, 실험 전과 후의 차이에 대한 통계적 유의성을 검증하기 위하여 paired t-test가 수행되었고, 집단 간의 유의성 분석은 unpaired t-test가 수행되었다.

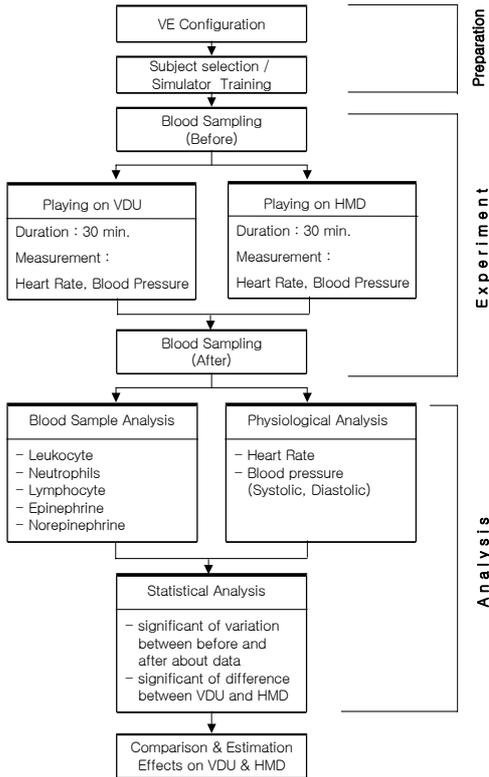


그림 2. 실험 절차도.

3. 결과

두 환경의 비교, 분석 결과, 동일한 작업에서 HMD 사용으로 인한 생리적 변화가 VDU를 이용한 생리적 변화보다 더 컸다. 이는 HMD 환경에서의 작업이 VDU 작업에서보다 인체에 미치는 영향(스트레스)이 더 크다는 것을 의미하는 것이다. 특히, 결과값들 중 카테콜라민(노어에피네프린)과 혈압(수축기와 이완

기)에 있어서 유의한 증가를 보였다.

3.1 혈압과 심박수

두 집단 간(HMD하에서 작업을 수행하는 실험군과 VDU 하에서 실험을 수행하는 대조군)에 있어서 실험 간 혈압과 심박수는 모두 증가할 것이고, 실험 전후 변화도는 VDU 대조군보다 HMD 실험군이 더 클 것이라고 가정하였다.

수축기 혈압은 VDU와 HMD 집단 모두에서 실험 전보다 실험 수행 간 유의한 증가를 보였다(VDU: P=0.001 HMD : P=0.001). 또한, HMD에서의 증가도가 VDU의 경우보다 더 높았으며, 변화도에 있어서 두 집단 간 유의한 차이를 보였다(P=0.034). 이완기 혈압의 경우, 수축기 혈압에서 측정된 패턴과 유사하게 두 집단 모두 유의한 증가를 보였으며(VDU p=0.003, HMD p=0.011), 두 집단 간에도 유의한 차이가 있었다(p=0.081).

심박수는 VDU와 HMD 모두 실험 전보다 실험 간 유의하게 증가하였다(VDU P=0.023 HMD P=0.005). 또한, HMD 상에서의 증가도가 VDU의 경우보다 컸지만 집단 간에 통계적인 유의성은 나타나지 않았다(<표 2>).

3.2 면역 세포

3.2.1 총 호중구수

두 집단 모두 정맥혈 내의 백혈구 수치가 증가하고, 실험 전후의 차이는 HMD의 경우가 VDU의 경우보다 더 클 것이라고 예측하였다. 그 결과, 백혈구의 수치가 두 집단 모두에서 실험 후 증가하였지만 통계적인 유의성은 보이지 않았다(VDU P=0.255 HMD P=0.3). 또한 두 그룹 사이에서도 통계적 차이를 보이지 않았다(VDU, HMD P=0.343)<표 3>.

표 2. 혈압과 심박수에 대한 비교

생리적 변수	실험 전 (Mean±S.D.)	실험 후 (Mean±S.D.)	t ^a	차이 (실험 전/후)	t ^b
수축기압 Systolic BP (mmHg)					
VDU	123.86±5.7	146.07±14.32	-5.82***	19.50±12.58	-5.16**
HMD	121.86±9.51	159.03±23.74	-6.53***	37.74±15.48	
확장기압 Diastolic BP (mmHg)					
VDU	75.71±8.99	93.51±10.05	-4.68***	15.66±9.12	-2.63**
HMD	71.71±5.99	106.17±22.93	-3.64**	35.31±23.84	
심박수 Heart rate (times/min)					
VDU	74.57±12.54	90.30±10.70	-3.05**	11.87±14.03	-2.19
HMD	72.43±8.89	93.67±10.33	-4.33***	21.24±12.98	

t^a : paired t-test; t^b : unpaired t-test

* P<.2; ** P<.1; *** P<.01

Exp.: Experiment; BP: Blood Pressure

3.2.2 호중구와 림프구의 비율

두 집단 모두 호중구의 수치는 증가할 것이나 림프구의 수치는 감소할 것이며, 실험 전과 후의 차이에 있어서 VDU의 경우보다 HMD의 경우가 더 클 것으로 예상하였다. 두 집단 모두 실험 후 백혈구 내 호중구 비율은 증가하였으며 실험 전후 간 유의한 차이를 보였다(VDU P=0.161 HDM P=0.13). 뿐만 아니라, 두 집단 간의 변화도에 있어서도 유의한 차이를 보였다(P=0.19). 백혈구 내의 림프구 비율에 있어서는 두 집단 모두 실험한 후가 전보다 각각 유의하게 감소하였으나(p=0.121, p=0.091), 집단 간 변화도에 있어서는 유의성이 나타나지 않았다.

3.3 호르몬(카테콜라민)

두 집단 모두 실험 후 카테콜라민(에피네프린, 노어에피네프린) 수치는 증가할 것이며 HMD 실험군의 경우가 VDU 대조군의 변화도보다 더 클 것으로 예측하였다. 에피네프린의 집단 간 변화는 VDU 집단이 18% 증가를 보인 반면 HMD 집단의 경우 14% 증가하였다. 그러나 스트레스에 영향을 주는 노어에피네프린의 경우, HMD 환경하에 작업 시 59%가 증가하여 15% 정도만 증가한 VDU 상에서의 작업보다 스트레스가 월등히 높아질 수 있다는 것을 알게 되었다.

3.3.1 에피네프린

에피네프린 수치는 두 집단 모두 실험 전후 비교 시 증가했으나 유의한 차이는 보이지 않았으며 두 집단 간의 변화도에 있어서도 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.3.2 노어에피네프린

노어에피네프린 수치의 경우 VDU 상에서의 실험 수행 후 증가를 보였으나 통계적으로 유의하진 않았다(P=0.134). 그러나 HMD 환경에서는 실험 후 유의한 증가를 보였고, 집단 간 변화

도 비교에 있어서도 유의한 차이를 보였다(P=0.002).

4. 결론

본 실험에서, HMD 집단에서의 수축기 혈압과 이완기 혈압이 VDU 집단에서보다 유의하게 높았다. 이는 HMD 작업환경이 VDU 환경보다 더 큰 생리적 영향을 미칠 뿐만 아니라 정신적 스트레스를 유발함을 보여주는 것이다. 이 결과는 정신적 스트레스가 고혈압과 같은 증상을 유발시킬 수 있으며 지속적인 혈압의 상승을 유발시킬 수 있다는 보고와 일치한다(Kop, Willem J., et al., 2001; Ellard, D.R., et al, 2001). 또한 육체적 스트레스뿐만 아니라 정신적 스트레스에 의해 유발되는 이러한 흥분상태는 심박수의 상승을 가져오게 되며, 이러한 증후는 결론적으로 스트레스의 주요한 지표가 될 수 있다(Rodahl, Kaare, 1989).

호중구 값의 증가는 VDU 집단에서보다 HMD 집단에서 더욱 유의하게 증가하였으며, 림프구 값 또한 실험 전보다 후에 좀더 유의하게 감소하였다. 이는 단기간의 비육체적 스트레스 자극으로 인하여 혈액 내 호중구 수가 유의하게 증가함을 보이는 기존 연구와 일치한다(Ellard, D.R., et al, 2001). 또한 림프구의 수치가 인위적인 스트레스에 의하여 감소한다는 기존 연구 결과와도 일치한다(Brosschot, J.F., et al., 1992).

카테콜라민(노어에피네프린) 수치의 증가는 VDU 환경에서보다 HMD 환경에서 더 높았다. 이는 우리의 인체가 VDU 환경에서보다 HMD 작업환경에서 더욱 쉽게 정신적 스트레스에 노출됨을 보여주는 것이다. 이러한 것은 관련 논문들이 스트레스 측정 실험에 있어서 카테콜라민 수치를 가장 일반적으로 적용하고 있다는 것으로도 입증된다(Naliboff, B.D., 1991). 뿐만 아니라, 항공 레이더와 관계작업 실험에 참가한 여섯 명의 피실험자들의 경우 작업을 수행한 후 소변 내 카테콜라민 배출량이

표 3. 백혈구, 호중구, 림프구에 대한 수치 비교

생리적 변수	실험 전 (Mean±S.D.)	실험 후 (Mean±S.D.)	t ^a	차이 (실험 전/후)	t ^b
백혈구 leukocytes (10 ³ number/μl)					
VDU	6.334±1.436	6.681±1.687	-1.26	0.347±0.73	
HMD	5.361±0.893	6.039±1.795	-1.13	0.707±1.59	-1.03
호중구 Neutrophil (%)					
VDU	60.47±7.96	63.31±10.3	-1.6*	2.84±4.71	
HMD	49.71±3.01	55.53±10.13	-1.75*	7.77±7.85	-3.39*
림프구 Lymphocyte (%)					
VDU	30.99±8.55	28.30±9.13	1.81*	-2.69±3.93	
HMD	38.13±3.23	32.73±8.49	2.01**	-5.40±7.1	1.65

t^a : paired t-test; t^b : unpaired t-test

*P<.2; **P<.1; ***P<.01

Exp.: Experiment

유의하게 증가했음을 보였다는 내용과도 일치하고 있다 (Grandjean, E.P., 1971). 그러므로 HMD 작업환경에서 얻어진 카테콜라민 수치에 대한 유의한 증가는 HMD 사용이 인체에 미치는 영향(스트레스)이 크다는 것을 입증하고 있는 것이다.

백혈구 수의 경우 HMD 실험군에서의 증가도가 VDU 대조군의 경우보다 컸다. 이 결과도 인위적인 스트레스에 노출된 이후 인체 내의 백혈구 수치가 증가한다는 연구결과와 일치하고 있다(Brosschot, J.F., et al., 1992). 결론적으로 HMD 하에서의 작업이 일반 VDU에서의 작업보다 인체에 더욱 심각한 스트레스를 유발시킴을 증명할 수 있었다.

5. 토의

본 연구에서는 가상환경 구현을 위하여 사용되는 VDU나 HMD와 같은 디스플레이 장치가 인체에 미치는 생리학적(정신적) 영향에 대한 연구를 수행하였다. 결론적으로 입증된 것은 가상환경하에서 HMD 사용이 VDU의 경우보다 생리학적 영향이 크다는 것이다. 기존의 연구들은 일반적으로 SSQ(simulator sickness questionnaire)와 같은 정성적 방법에 제한되어 있었으나, 본 연구에서는 생리학적 데이터(자율신경계, 면역계, 호르몬 반응)를 적용하는 정량적 방법을 사용하였다. 본 연구의 결과는 HMD 제작 및 사용성 평가를 위한 좋은 지표를 제공하고 있어, 추후 HMD 제작 시 정신적 스트레스와 cybersickness 간의 관계에 대한 연구에 많은 자료를 제공할 것으로 본다.

차후 연구되어야 할 부분으로는, 본 연구에서는 실험을 위하여 7명의 피실험자가 참여했으므로, 좀더 많은 피실험자를 대상으로 실험이 수행된다면 더 나은 결과를 얻게 될 것으로 본다. 또한 simulator sickness는 단순한 문제가 아니며 객관적인 측정과 주관적인 측정 간의 확고한 조화만이 최적의 대안을 제공할 것(Kennedy, R.S., 1988)이므로 앞으로의 연구에 있어서는 정성적인 연구와 함께 생리학적인 자료를 바탕으로 한 다양한 접근이 시도되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

Ahn, Sung Hee(1996), Effect of Dan-Jeon Breathing on the Immune Cells and Stress, *The Journal of Catholic Medical College*, Vol. 49, No.2, 793-803.
 Bachen, E.A., Manuck, S.B., Marsland, A.L.(1992), Lymphocyte subset and cellular immune responses to brief experimental stressor, *Psychosom. Med.* 54, 673-679.
 Birt, J.A., Furness, T.A.(1974), Visually-coupled systems. *Air Univ. Rev.* 20, 28-40.

Brosschot, J.F., Benschop, R.J., Godaert, G.L., Martin B.M., Oliff M., Heijnen, C.J., & Ballieux, R.E.(1992), Effects of experimental psychological stress on distribution and function of peripheral blood cells, *Psychosom. Med.* 54, 394-406.
 Cho, Gyung Suk(1998), The effect of hand massage program on anxiety in cataract surgery under local anesthesia, *thesis of doctor of philosophy in the catholic Uni.*
 Cobb, S.V.G., Nichols, S., Ramsey, A., Wilson, J.(1999), Virtual Reality Induced symptoms and effects (VRISE), *Presence* 8, 169-186.
 Ellard, D.R., Castle, P.C., Mian, R.(2001), The effect of a short-term mental stressor on neutrophil activation, *International Journal of Psychophysiology* 41, 93-100.
 Grandjean, E.P., Wotzka, G., Schaad, R. and Gilgen, A.(1971), Fatigue and stress in air traffic controllers, *Ergonomics*, 14(1), 159.
 Howarth, P.A., Costello, P.J.(1997), The occurrence of virtual simulation sickness symptoms when an HMD was used as a personal viewing system, *Displays*, 18, 107-116.
 Kennedy, R.S. & Hettlinger, L.J., & Lilienthal, M.G.(1988), Simulator sickness, In G.H. Crampton(Ed.), *Motion and Space Sickness, chapter 15*, 317-341.
 Kolasinski, Eugenia M.(1995), Simulator sickness in Virtual Environments, *U.S. Army Project report AD-A295861; ARI-TR-1027*.
 Kop, Willem J., Krantz, David S., Howell, Robert H., Ferguson, Michael A., Papademetriou, Vasilios, Lu, David, Popma, Jeffrey J., Quigley, John F., Vernalis, Marina, Gottdiener, John S.(2001), Effects of mental stress on coronary epicardial vasomotion and flow velocity in coronary artery disease: relationship with hemodynamic stress responses, *Journal of the American College of Cardiology*, 37(5), ISSN 0735-1097.
 Korf, J., Aghajanian, G.K., Roth, R.(1973), Increased turnover of norepinephrine in the rat cerebral cortex during stress: Role of the locus coeruleus, *Neuropharmacology*, 12, 933-938.
 LaViola, Joseph J. jr.(2000), Physical, physiological and psychological side-effects, *SIGCHI Bulletin* Vol. 32(1), January(2000).
 Lo, W.T., Richard, H.Y.(2001). So, Cybersickness in the presence of scene rotational movements along different axes, *Applied Ergonomics*, 32, 1-14.
 Manuck, S.B., Olsson, G., Hjerdahl, P., Rehnqvist, N.(1992), Does cardiovascular reactivity to mental stress have prognostic value in postinfarction patients?, A pilot study, *Psychosom. Med.* 54, 102-108.
 Naliboff, B.D., Benton, D., Solomon, G.F., Morley, J.E., Fahey, J.L., Bloom, E.T., Makinodan, T., Gilmore, S.L.(1991), Immunological changes in young and adults during brief laboratory stress, *Psychosomatic Medicine*, 53(2), 121-132.
 Nelson, W. Todd, Bolia, Robert S., Russell, Chris A.(2000), Head-slaved tracking in a see-through HMD: the effects of a secondary visual monitoring task on performance and workload, *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*.
 Nichols, Sarah(2000), Individual characteristics and experiences of virtual reality induced symptoms and effects (VRISE), *Proceeding of IEA 2000/HFES 2000 Congress*.
 Regan, E.C.& Price, K.R.(1993), Some side-effects of immersion virtual reality, *Army Personnel Research Establishment (APRE) Report 93R010*.
 Rodahl, Kaare(1989), The physiology of work, Taylor & Francis.
 Stanney, K.M., Kennedy, R.S.(1997), Development and testing of a measure of the kinesthetic position sense used to assess the aftereffects from virtual environment exposure. *Proceedings of IEEE 1997 Virtual Reality Annual International Symposium*, 87-94.



이창민

공군사관학교 학사

Tennessee Tech. Univ. 공과대학 산업공학과 석사

고려대학교 공과대학 산업공학과 박사

현재: 동의대학교 산업공학과 교수

관심분야: 인간공학, 생체역학, 작업생리



박시현

동의대학교 산업공학과 학사

동의대학교 산업공학과 석사

현재: 펜실베이니아 주립대학 산업공학 박사
과정

관심분야: 인간공학, 생체역학, CTDs