감성과학, Vol. 14, No. 4, pp.653-662, December 2011

3D TV 시청으로 유발된 시각피로가 자율신경계 기능에 미치는 영향

Autonomic Nervous System response affected by 3D visual fatigue evoked during watching 3D TV

박상인* · 황민철**† · 김종화*** · 문성철* · 안상민*

SangIn Park* · MinCheol Whang**† · JongWha Kim*** · SungChul Mun* · SangMin Ahn*

상명대학교 감성공학과*

Department of Emotion Engineering, Sangmyung University*

상명대학교 디지털미디어학부**

Department of Digital Media, Sangmyung University**

상명대학교 컴퓨터과학과***

Department of Computer Science, Sangmyung University***

Abstract

As technology in 3D industry has rapidly advanced, a lot of studies primarily focusing on visual function and cognition have become vigorous. However, studies on effect of 3D visual fatigue on autonomic nervous system have not less been conducted. Thus, this study was to identify and determine the effect that might have a negative influence on sympathetic nervous system, parasympathetic nervous system, and cardiovascular system. Fifteen undergraduates (female: 9, mean age: 22.53±2.55) participated and were sat on a comfortable chair, viewing a 3D content during about 1 hour. Cardiac responses like SDNN(standard deviation of RR intervals), RMS-SD(root mean squared successive difference), and HF/LF ratios extracted from the measured PPG(Photo-PlethysmoGram) before viewing 3D were compared to those after viewing 3D. The results showed that after subjects watched the 3D, responses in sympathetic nervous system and parasympathetic nervous system were activated and deactivated, respectively relative to those before watching the 3D. The results showed that HF/LF ratio, Ln(LF), and Ln(HF) after viewing 3D were significantly reduced relative to those before viewing 3D. No significant effects were observed in SDNN and RMS-SD. Results obtained in this study showed that visual fatigue induced by watching 3D adversely influenced autonomic nervous system, and thereby reduced heart rate variability causing sympathetic nervous acceleration.

Keywords : sympathetic nervous, parasympathetic nervous, cardiovascular, 3D visual fatigue, Pulse rate variability

요 약

최근 3D TV 보급과 확산에 따른 시각 피로문제가 대두되면서 시각 기능과 인지적 관점에서의 연구가 활발

† 교신저자 : 황민철 (상명대학교 디지털미디어학부)
E-mail : whang@smu.ac.kr
TEL : 02-2287-5293
FAX : 02-2287-5425

하다. 그러나 3D 시각피로가 자율신경계 기능에 미치는 영향에 대한 연구는 미비하다. 따라서 본 연구에서는 3D TV 시청으로 유발되는 3D 시각피로가 자율신경계 기능에 미치는 영향과 이 영향이 교감 및 부교감 신경계와 심혈관계 반응에 미치는 영향을 확인하고자 한다. 피험자는 20 대 남녀 대학생 15 명(남 6 명, 여 9 명, 평균나이 22.53 세 ± 2.55 세)을 대상으로 하였다. 피험자는 편안한 의자에 앉아 3D TV를 1시간 시청하였다. 3D TV 시청 전과 후의 1분간 맥파(PPG, Photo-PlethysmoGram)를 측정하였고 주관설문을 실시하였다. 측정된 신호에서 SDNN (standard deviation of RR intervals), RMS-SD(root mean square successive difference), HF/LF ratio, Ln(LF), Ln(HF)를 추출하여 교감 및 부교감 신경계, 그리고 심혈관계 반응을 확인 하였다. 연구 결과 HF/LF ratio, Ln(LF), Ln(HF)는 시청 후에 유의하게 감소하였고, SDNN, RMS-SD는 통계적 유의차를 확인할 수 없었다. 이 결과는 3D 시각피로가 자율신경계 기능에 영향을 미치고 이로 인해 교감신경계가 항진되는 반응이 나타나며, 심박 변화율이 감소하는 결과를 초래할 가능성을 확인 하였다.

주제어 : 교감신경계, 부교감신경계, 심혈관계, 3D 시각피로, 심박변화율

1. 서론

최근 3D 영상 처리와 3D 디스플레이 기술의 발전은 3차원 영상 시장의 빠른 발전을 이루어 왔으며, 차세대 방송 기술로 각광 받고 있다. 특히 최근에 저변이 확대된 3D TV를 통해 쉽게 3D 콘텐츠를 접할 수 있게 되었다. 그러나 3D TV 시청에 따른 광과민성발작, 영상멀미, 시각피로의 문제가 대두되고 있으며, 이는 3D 산업 발전을 위해 반드시 선결 되어야 할 문제이다(Hoffman et al., 2008). 또한 국제표준화기구 ISO는 2005년에 영상 안전성과 관련한 몇 가지 가이드라인을 제시 하였다. 이 가이드라인에 포함된 것 중 영상 안전성 이슈에 광과민성발작, 영상멀미, 시각피로가 포함되어 인체 안전성 문제를 강조하고 있다(WA3;ISO, 2005).

이처럼 3D 디스플레이를 통하여 제시되는 콘텐츠를 시청할 때 발생하는 피로감은 안구통증, 이중상 경험과 같은 시각적 피로뿐만 아니라, 두통, 멀미, 어지러움 증상을 동반하고 심한 경우에는 구토를 유발하기도 하며 이러한 현상을 3D 피로라 한다. 3D 피로의 원인은 크게 네 가지로 구분할 수 있다. 디스플레이가 지닌 결함 때문에 발생하는 디스플레이 요인, 시청자의 편의성을 고려하지 않고 제작된 콘텐츠의 결함 때문에 발생하는 콘텐츠 요인, 시청자의 시각 메커니즘상의 불완전성 때문에 발생하는 시청자 요인 그리고 적절하지 못한 시청환경에서 시청하기 때문에 발생하는 시청환경 요인이 있다. 시청자에게 발생하는 이러한 3D 피로의 원인이 3D 자극 자체에 있는 것인지 아니면 그 밖의 다른 원인에 기인하는 것인지는 과학적인 연구 또는 조사를 해보기 전에는 명확히 답변하는 것에 어려움이 있다(이형철, 2010a). 이 때문에 3D TV 시청에 따른 광과민성발작, 영상멀미, 시각피로 문제의 원인과 그 위험성을 확인하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다(Furusho et al., 2002; Polonen et al., 2009; Oyamada 2007; Solimini 2011).

광과민성발작(Photo Sensitive Epileptic Seizures)은 오랜 시간 불규칙적으로 깜박거리는 빛에 자극받아 생기는 간질 발작으로 1997년 일본에서 약 700여명의 어린이가 “Pokemon monster” 애니매이션을 시청하던 중 병원으로 실려가 치료를 받았고 그 중 두통, 구토, 발작 등의 증세를 나타내었다. 이 사건을 계기로 하여 광과민성발작의 위험성이 부각 되었고 현재 stereoscopic image에서도 그 위험성을 경고하고 있다(Furusho et al., 2002).

영상멀미(Visually induced motion sickness)는 3D stereoscopic image 시청으로 인해 눈의 통증, 멀미, 구토 같은 증상을 나타내는 것을 말하며, 3D stereoscopic image 시청의 위험성을 나타낸다(Polonen et al., 2009). Oyamada(2007)의 연구에서 흔들림이 심한 3D stereoscopic image를 짧게 시청하게 하고 동공과 심혈관계 반응을 확인한 결과 모든 피험자가 3D image 시청 후, 불편감을 나타내었고 또한 동공과 심혈관계에 변화가 나타남을 보고 하였다. Solimini(2011) 연구에서 3D 영화를 피험자에게 시청하게 하고 그 증상을 관찰한 결과 눈의 통증, 두통, 멀미 등의 영상멀미 증상이 나타나는 것으로 보고 하였다.

현 상황에서 분명한 것은 극단적인 인체안전성 문제를 고려하지 않더라도, 3D 시각피로(Visual Fatigue)

는 3D 영상을 시청할 때에 결코 무시할 수 없는 비율로 보고되고(이형철, 2010a) 가장 빈번하게 발생하며, 그 위험도가 광과민성발작이나 영상멀미에 비해 상대적으로 낮은 것으로 보고되고 있다(Hoffman et al., 2008). 또한 많은 연구에서 2D와 3D의 시각피로 비교연구에서 2D를 시청할 때보다 3D를 시청할 때 시각피로를 크게 느끼는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2010; Li et al., 2008; Ishigure et al., 2004). 이처럼 3D 시각피로 문제를 인지하고 이를 해결하기 위한 연구들이 진행 중에 있다. 시청자의 안전시청을 확보하기 위하여 휴먼팩터 분야의 표준 규격을 만들 때 반드시 포함되어야 할 것들은 피로도 및 품질 측정도구와 안전시청 가이드라인 그리고 콘텐츠 제작 가이드라인이다. 이 중에서 가장 기본적인 것이 피로도 및 품질측정 방법의 표준화이고 3D 시각피로나 품질을 측정하는 방법이 먼저 개발되는 것이 논리적으로 타당하다(이형철, 2010a). 따라서 많은 연구에서는 시각피로의 위험성보다는 시각피로를 정량적으로 측정할 수 있는 방법에 연구 초점이 맞춰져 있다.

3D 시각피로를 측정하는 연구는 크게 주관설문, 뇌파 등 생체신호, 시각 기능으로 나눌 수 있다. Takahashi(2006)의 연구에서는 LCD와 PDP 시청에 따른 시각피로도를 주관설문을 통해 비교하였다. Heo 등(2010)의 연구에서는 PPG, GSR, SKT의 생체신호를 통해 게임에서 유발되는 시각피로를 정량적으로 평가하고자 하였다. Trejo 등(2007)의 연구에서는 시각피로를 뇌의 인지반응을 통해 접근하여 자발뇌파를 확인하였다. Li 등(2008)의 연구에서는 유발뇌파를 통해 시각피로를 확인하였고 시각피로 발생시 ERP(Event Related Potential)의 P700이 나타나는 반응을 보고하였다. Lee(2011)의 연구에서는 눈 영상을 취득하여, 눈깜박임과 동공 조절 속도를 통해 시각피로를 평가하였다. 이처럼 많은 연구에서 시각피로를 정량적으로 평가하기 위한 방법으로 생체신호, 뇌파 그리고 시각기능을 통해 접근하고 있다. 그러나 아직까지 3D 시각피로를 측정하기 위한 표준화된 방법은 없는 실정이며 다양한 방법을 통해 3D 시각피로를 정량적으로 측정할 수 있는 방법을 모색 중에 있다. 시각피로와 관련된 휴먼팩터 연구를 수행하기 위해서는 관심 변인인 시각적 피로가 객관적이고 일관성 있게 그리고 정확하게 측정되어야 하는데, 시각적 피로를 안정적으로 타당하게 측정하는 도구는 별반 알려진 것이 없다(이형철, 2009). 이처럼 3D 시각피로를 정량적으로 측정하고 평가하기 위한 방법론에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이에 대한 중요성 또한 인식되어지고 있다. 그러나 3D 시각피로가 인체에 미치는 영향에 대한 연구는 미비하며 그 중요성에 대한 인식 또한 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 3D TV 시청으로 유발되는 시각피로가 자율신경계 기능에 미치는 영향을 확인하고 이러한 자율신경계 영향이 교감 및 부교감 신경계와 심혈관계 반응에 미치는 영향을 확인하고자 한다. 자율신경계는 외부환경의 변화에 대하여 교감신경계를 통해 신체 항상성을 유지하고, 부교감 신경계를 통해 신체의 휴식기에 에너지를 저장하고 유지하는 작용을 한다(이태경, 2007). 최근에는 내장으로부터 오는 구심섬유와 편도, 변연계 그리고 시상하부와 중뇌를 포함한 뇌간의 자율신경 조절회로를 자율신경계의 주요한 구성성분으로 포함하고 있다(이태경, 2007). 또한 세로토닌은 대뇌신경계에 광범위하게 분포해 있으며 혈압 조절에 중요한 것으로 알려져 있다(Kuhn et al., 1980). 세로토닌을 연수의 고립핵(nucleus tractus solitari)에 직접 주입 시 교감신경계의 활성이 억제되고 부교감신경계의 활성이 증가되며 서맥(bradyrhythmia)이 관찰되었다(Baum et al., 1975). 이처럼 중추신경계는 자율신경계를 통해 심혈관계 반응에 밀접한 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. Nichols 등(1999)과 Pouratian 등(2003) 연구결과에 따르면 3D 콘텐츠를 시청으로 유발되는 시각피로가 뇌의 시각정보 프로세스의 과부하를 유발 시키며, 인지피로를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 3D TV 시청이 자율신경계 미치는 영향을 확인하기 위해 교감 및 부교감 신경계 활성도와 심박 변이를 확인 하고자 한다.

교감 및 부교감 신경의 활성도를 확인하기 위해 PRV(Pulse Rate Variability)분석을 통해 LF(Low Frequency), HF(High Frequency)를 추출하고 autonomic balance를 확인하기 위해 Ln(LF), Ln(HF)를 추출하였으며, 심혈관계 반응을 확인하기 위해 SDNN, RMS-SD를 추출하였다. 추출된 변수를 통해 다음의 가설을 검증하고자 한다.

H : 3D TV시청 전과 후에 SDNN과 RMS-SD의 차이가 있다.
H : 3D TV시청 전과 후에 HF/LF ratio의 차이가 있다.
H : 3D TV시청 전과 후에 Ln(LF), Ln(HF)의 차이가 있다.

2. 연구 방법

2.1. 피실험자

본 연구에 참여한 피실험자는 상명대학교 및 대학원 재학생 15명을 대상으로 하였다(남 6명, 여 9명; 평균 나이 22.53세±2.55). 실험에 참여하는 피험자는 자율신경계와 시각 기능에 이상이 없는 피험자를 대상으로 하였고 자율신경계에 영향을 끼칠 수 있는 카페인, 음주, 흡연 등을 제한하였으며, 실험에 참여하기 전날 충분한 수면을 유지하게 하여 피험자가 실험에 참여하기 전 피로를 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 피험자로부터 연구목적을 제외하고 실험에 대한 대략적인 사항에 대해 설명한 후 자발적 의지에 대한 피험자 동의서를 얻었으며, 실험에 참여한 대가로 소정의 금액을 지불하였다. 본 연구의 실험절차는 헬싱키 선언에 입각하여 상명대학교 윤리위원회 심의를 받아 진행하였다.

2.2. 연구방법

피험자는 편안한 의자에 앉아 3D TV를 1시간 동안 시청하고 시청 전과 후에 맥파(PPG)를 측정 하였다. 3D 시각피로를 최대한 유발하기 위해 시청거리를 1m로 하였으며, 조명을 어둡게 하여 제시되는 3D stereoscopic image 자극에 최대한 집중 할 수 있도록 하였다. 실험 전과 실험 후에 Li 등(2010b)이 개발한 주관적 피로평가 측정도구를 이용하여 피험자의 상태에 대한 설문을 실시하였고, 실험 후 인터뷰를 통해 시각피로 유발 정도를 확인 하였다. 주관평가 설문지는 시각적 스트레스, 눈 통증, 신체통증, 상 흐림의 4가지 요인으로 구성되어 있으며, 역 문항을 포함하여 주관평가의 신뢰성을 확보하였다. 실험에 사용된 3D 콘텐츠는 입체감이 뛰어난 것으로 알려진 라푼젤(The Walt Disney Company, 2010)을 사용하였으며, 40inch LED 3D TV(UN40D6400, Samsung)를 통해 제시 하였다. 실험 순서는 Figure 1과 같다.

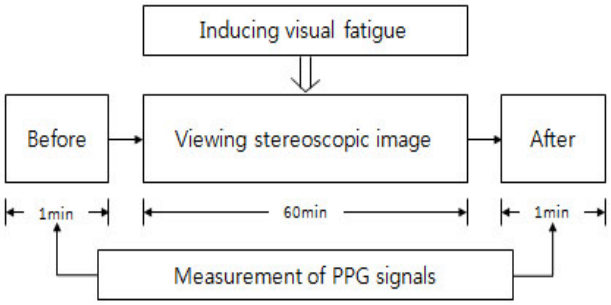

Figure 1. Experiment protocol

2.3. 신호수집

신호는 피험자의 좌측 귓불에 PPG ear type sensor (TSD200A, BIOPAC System)를 부착하여 측정 하였다. 측정된 신호는 PPG amplifier(PPG100C, BIOPAC System)를 통해 신호를 증폭하였다. 측정된 신호는 A/D 변환기인 DAQ board(NI-DAQ6015, National Instrument)를 사용하여 500 Hz로 샘플링 하였다(Kim et al., 2008).

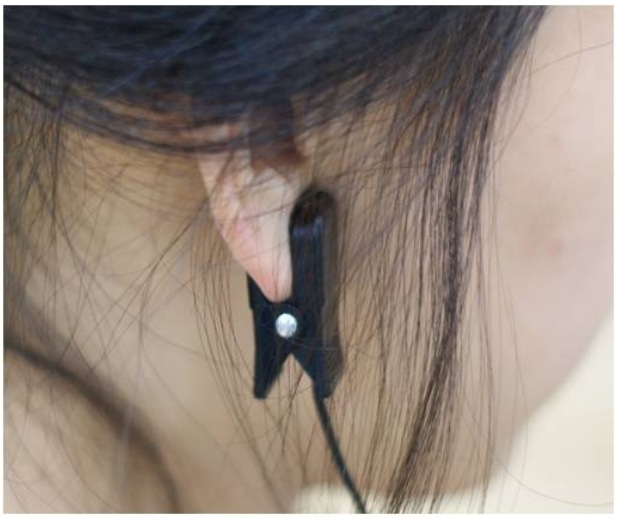

Figure 2. Measurement of physiological signals(PPG sensor)

2.5. 신호처리 및 분석방법

측정된 PPG 신호는 HRV(Heart Rate Variability)분석에서와 마찬가지로 PRV(Pulse Rate Variability)를 검출하기 위해 PPG 신호에서 비정상적인 심장박동을 제

거하고 이전 peak과 현재 peak까지의 시간인 PPI(Peak to Peak Interval)를 millisecond 단위로 검출 하였고 추출된 PPI의 표준편차를 계산하여 SDNN을 추출하였다. 또한 인접한 PPI의 차이를 제곱한 값의 평균의 제곱근을 취하여 RMS-SD를 계산하여 심혈관계 반응을 확인하기 위한 지표로 활용하였다. FFT분석을 위해 PPI data를 interpolation 2Hz로 재샘플링 처리하였다. 시계열 처리된 PPI data는 FFT 분석을 통해 PRV를 검출하였고 LF(Low Frequency), HF(High Frequency)를 추출하여 HF/LF ratio를 교감신경계와 부교감신경계의 지표로 연구에 활용 하였다. 또한 LF와 HF의 자연로그를 취하여 Ln(LF)와 Ln(HF) 추출하여 autonomic balance를 확인하였다(McCraty et al., 2009).

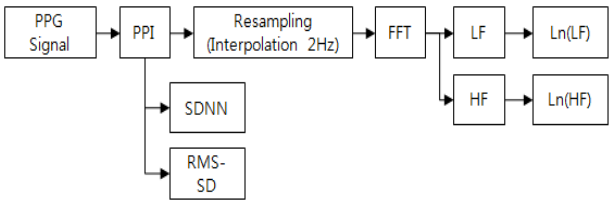

Figure 3. Signals processing procedure

Ln(LF)를 x축, Ln(HF) y축으로 하여 reference state와 Zone 1에서 Zone 8까지 나누어 autonomic balance를 확인하기 위한 지표로 활용 하였으며(McCraty et al., 2009), reference state와 Zone은 다음과 같다.

Zone 1: High parasympathetic / low sympathetic
Zone 2: High parasympathetic / normal sympathetic
Zone 3: High dual autonomic tone
Zone 4: High sympathetic / normal parasympathetic
Zone 5: High sympathetic / low parasympathetic
Zone 6: Normal sympathetic / low parasympathetic
Zone 7: Low sympathetic and parasympathetic
Zone 8: Low sympathetic / normal parasympathetic

추출된 SDNN, RMS-SD, HF/LF ratio, Ln(LF), Ln(HF)는 3D TV 시청이 자율신경계 기능에 미치는 영향을 확인하고 이러한 자율신경계 기능의 영향이 교감 및 부교감신경계, 심혈관계에 미치는 영향을 확인하기 위해 시청 전과 시청후의 차이를 확인 하였다. 실험 결과는 SPSS 17.0K(SPSS, an IBM Company, USA)를 사용하여 통계분석 하였다. 실험을 통해 수집된 데이터가 정규분포를 따르는지 여부를 확인하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다. 검정 결과 시청 전 HF/LF ratio를 제외하고 SDNN, RMS-SD, Ln(LF), Ln(HF)의 시청 전후 모두 정규성 가정이 충족 되었다 ($p>.05$).

따라서 정규성 검정 결과가 충족되는 SDNN, RMS-SD, Ln(LF), Ln(HF)의 경우, paired t-test를 실시하여 시청 전과 시청 후의 통계적 유의차를 확인하였고 정규성 검정 결과가 충족되지 않은 HF/LF ratio의 경우, wilcoxon single rank test를 실시하였다.

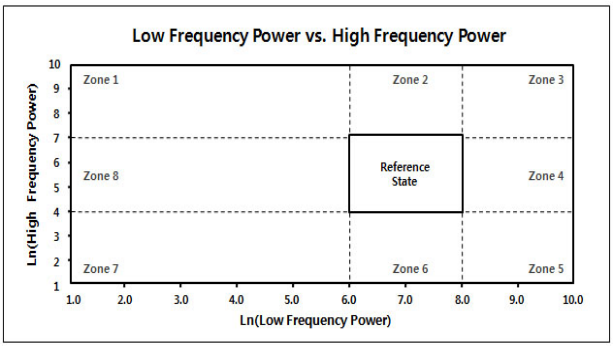

Figure 4. Autonomic balance(normalized LF & HF)

3. 결과

3.1. 주관평가

3D TV 시청 전과 후에 주관평가 결과 피험자 15명 중 10명의 피험자가 시각적 스트레스, 눈 통증, 신체 통증, 상 흐림의 4요인에서 모두 시청 후에 증가한 결과를 나타내었다. 반면 15명의 피험자 중 5명의 피험자는 4 요인 중 2 요인(신체통증, 상 흐림)만이 증가하는 결과를 타나내었다. 실험 후 인터뷰 결과에서도 시각적으로 큰 피로감을 경험하지 않은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 시각피로를 최대한 유발하여 시각피로에 따른 반응차이를 확인하고자 하였으므로, 시각피로가 4 요인에서 모두 증가하지 않은 피험자는 시각피로가 완전히 유발되지 않은 것으로 판단하여 연구에서 제외 하였다.

3.2. Time domain

SDNN은 시청 전에 비해 시청 후에 감소하였고 RMS-SD 또한 시청 전에 비해 시청 후에 감소하였다. 시청 전과 후의 통계적 유의차를 확인하기 위해 paired t-test를 실시하였다. SDNN(p = .191)과 RMS-SD (p = .744)는 통계적 유의차를 확인 할 수 없었다. 실험 결과는 figure 5와 같다.

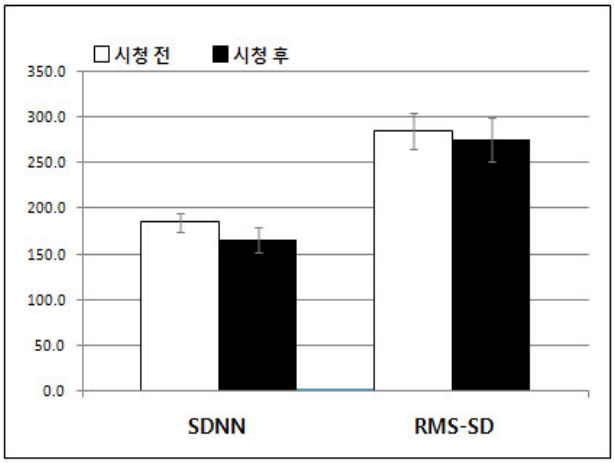

Figure 5. Result of time domain(SDNN & RMS-SD)

3.3. Frequency domain

HF/LF ratio는 시청 전에 비해 시청 후에 감소하였다. HF/LF ratio는 시청 전과 후의 통계적 유의차를 확인하기 위해 Wilcox single rank test를 실시하였다. 검증 결과, HF/LF ratio(z = -2.803, p = .005)의 통계적 유의차를 확인 할 수 있었다.

Ln(LF)는 시청 전에 비해 시청 후에 증가하였고 Ln(HF)는 시청 전에 비해 시청 후에 감소하였다. 시청 전과 후의 통계적 유의차를 확인하기 위해 paired t-test를 실시하였다. 검증 결과, Ln(LF)(p = .021)와 Ln(HF)(p = .00)는 시청 전과 후의 통계적 유의차를 확인할 수 있었다. 실험 결과는 figure 6과 같다.

실험에 참여한 피험자 10명 중 6명의 피험자가 시청 전 Zone 8에서 시청 후 Zone 6으로, 3명의 피험자가 시청 전 reference state에서 시청 후에 reference state로, 1명의 피험자가 시청 전 reference state에서 시청 후 Zone 6으로 변화 하였다. 실험 결과는 figure 7과 같다.

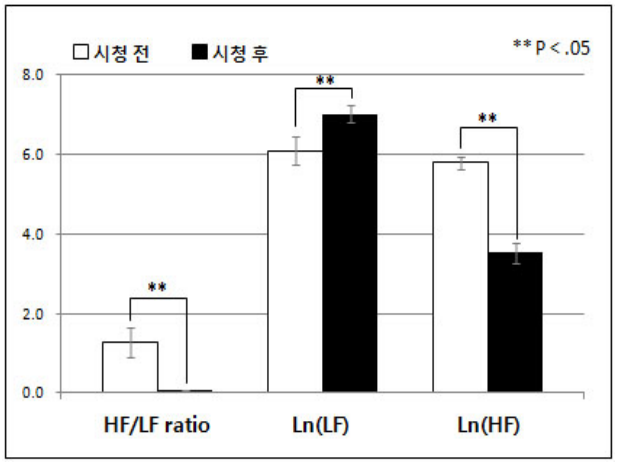

Figure 6. Result of frequency domain(HF/LF ratio, Ln(LF) & Ln(HF))

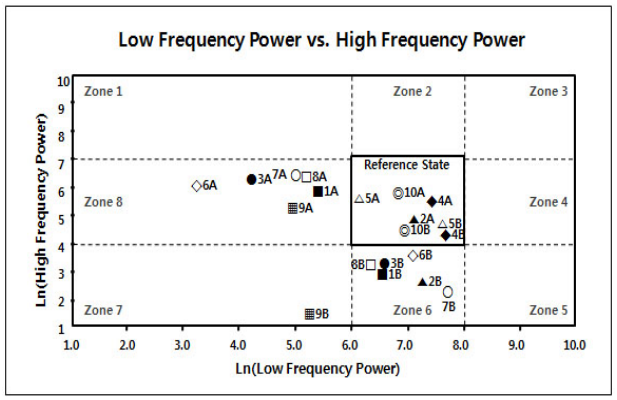

Figure 7. Ln(Low frequency power) & Ln(high frequency power)(A - before, B - after)

Table 1. Result of experiment

		HF/LF ratio	Ln(LF)	Ln(HF)	SDNN	RMS-SD
Subject 1	시청 전	1.26	5.85	5.93	182.37	310.58
	시청 후	0.08	6.56	3.29	141.44	253.57
Subject 2	시청 전	0.33	7.48	5.37	180.01	244.27
	시청 후	0.05	7.01	2.81	130.65	219.18
Subject 3	시청 전	3.70	5.07	6.27	192.28	340.56
	시청 후	0.12	6.40	3.77	142.21	246.94

Subject 4	시청 전	0.18	.82	5.11	193.76	229.65
	시청 후	0.08	7.88	4.22	211.12	351.72
Subject 5	시청 전	1.18	6.20	5.89	173.38	278.85
	시청 후	0.11	7.73	4.58	226.15	384.30
Subject 6	시청 전	2.92	4.36	6.07	183.49	318.39
	시청 후	0.08	7.03	3.91	202.07	340.42
Subject 7	시청 전	0.80	5.64	6.57	262.53	402.05
	시청 후	0.03	7.71	2.91	164.80	257.46
Subject 8	시청 전	0.47	5.64	5.27	159.41	227.03
	시청 후	0.14	6.63	3.75	149.69	214.47
Subject 9	시청 전	1.47	5.54	5.53	127.10	207.75
	시청 후	0.05	5.61	1.76	84.00	141.38
Subject 10	시청 전	0.55	7.16	5.75	191.57	288.31
	시청 후	0.10	7.07	4.15	195.86	346.00

4. 결론 및 논의

본 연구에서는 3D TV 시청으로 유발되는 시각피로가 자율신경계 기능에 미치는 영향을 확인하고 이 영향이 교감 및 부교감 신경계와 심혈관계 반응에 미치는 영향을 확인하였다. 이를 위해 남녀 대학생 피험자 15명을 대상으로 1시간 동안 3D TV를 시청하게 하고 시청 전과 후에 1분간 맥파(PPG)를 측정하였다. 측정된 신호는 신호처리 과정을 거쳐 HF/LF ratio, Ln(LF), Ln(HF), SDNN, RMS-SD를 추출하여 교감및 부교감 신경계와 심박 변이를 확인 하였다. 주관평가와 인터뷰를 통해 3D 시각피로 유발 정도를 확인 하였고 3D 시각피로가 충분히 유발되지 않은 5명의 피험자는 연구에서 제외하였다.

심박동수의 PRV 분석을 통해 미주신경의 조절에 의한 교감신경의 영향을 반영하는 LF성분과 호흡과 미주신경의 영향을 반영하는 HF성분을 추출하였다. LF와 HF는 교감 신경계와 부교감 신경계의 활성화 정도를 확인하기 위한 지표로 많이 활용된다(Pagani et al., 1986; Kim et al., 2010; Tran et al., 2009; McCraty et al., 2009). 본 연구에서는 HF/LF ratio를 통해 교감 및 부교감 신경계의 활성화 정도를 확인 하였으며, 실험 결과 시청 전에 비해 시청 후에 HF/LF ratio가 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 3D TV 시청 전에 비해 시청 후에 부교감신경 활성도가 감소하고 교감신경 활성도가 증가되었음을 뜻한다.

Ln(LF)와 Ln(HF)를 통해 autonomic balance를 확인한 결과에서는 3D TV 시청 전에 Zone 8에 속하는 그룹(subject 1, 3, 6, 7, 8, 9)과 reference state에 속하는 그룹(subject 2, 4, 5, 10)으로 나눌 수 있다. Autonomic balance를 확인하기 위해 피험자에게 미칠 수 있는 변인(커피, 수면, 흡연 등)을 통제하여 autonomic balance가 유지되는 상태에서 3D 시각피로에 따른 변화를 확인하고자 하였다. 그러나 실험결과 6 명의 피험자가 시청 전에 autonomic balance가 유지되지 않는 결과를 나타내어 비교하고자 하는 기준이 명확하지 않다. 이는 피험자 통제변인이 명확히 통제되지 않은 결과로 생각되며, “자율신경계 이상이 없는 피험자”라는 통제변인 또한 너무 광범위하여 피험자가 autonomic balance 상태에 대한 점검이 이루어지지 못한 이유도 있을 것으로 생각된다. 따라서 autonomic balance에 대한 가설을 확인하기에는 한계가 있다. 추후 연구에서는 상기에 명시된 요인을 명확하게 통제할 필요성이 있을 것으로 생각한다. 반면 LF/HF ratio 결과와 마찬가지로 피험자 간에 정도 차이는 존재하지만 모든 피험자가 교감신경 활성도가 증가하고 부교감신경 활성도가 감소하는 결과를 나타내어 교감신경계가 항진되는 결과를 확인하였다.

SDNN과 RMS-SD는 심혈관계 반응을 나타내는 지표로 SDNN의 감소는 심박변화가 불규칙함을 뜻하고 좌심실 기능장애, 심근경색으로 인한 갑작스런 죽음의 위험성을 나타내는 지표이고 RMS-SD는 심장의 부교감 신경의 조절능력을 나타내는 지표이다. 실험결과 시청 전에 비해 시청 후에 SDNN과 RMS-SD가 감소함을 확인하였다. 일반적으로 정신적 피로를 받게 되면 중추 부교감신경 활동이 억제되어 심박동 변이의 감소가 일어나며 상대적으로 활성화된 교감신경이 심장박동을 빠르게 한다(Gorman, 2000). SDNN과

RMS-SD의 감소는 심박동 변이의 감소를 나타내는 지표로 나이가 증가하거나 자율신경계 기능에 이상이 있는 사람에게서 나타난다. 비록 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 3D TV 시청 후에 감소한 결과를 나타낸 것으로 보아 3D TV 시청으로 인한 자율신경계 기능의 부적절한 영향이 심혈관계 반응에 까지 영향을 미칠 수 있는 가능성을 확인하였다.

Nichols 등(1999)과 Pouratian 등(2003) 연구결과에 따르면 3D 콘텐츠를 시청으로 유발되는 시각피로가 뇌의 시각정보 프로세스의 과부하를 유발 시키며, 인지피로를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 또한 2D 콘텐츠를 시청할 때보다 3D 콘텐츠를 시청할 때 시각피로를 더 크게 느끼는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2010; Li et al., 2008; Ishigure et al., 2004). 따라서 본 연구결과는 3D 콘텐츠 시청으로 인해 유발되는 3D 시각피로가 뇌의 시각 정보처리 프로세스에 과부하를 초래하고 이러한 과부하가 자율신경계 기능에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 이는 자율신경계 기능에 영향을 미치고 이로 인해 교감신경계가 항진되며 심박 변화율이 감소하는 결과를 나타낸 것으로 여겨진다.

일반적으로 자율신경계는 교감과 부교감 신경계의 길항 작용을 통해 인체 항상성을 유지하며, 이것은 건강한 상태를 나타내는 지표이다. 본 연구를 통해 3D TV 시청이 이와 반대되는 결과를 나타낸 것은 3D TV 시청이 자율신경계 기능에 영향을 미치고 교감신경계가 항진되는 결과를 초래하여 인체 항상성 유지에 영향을 줄 수 있는 가능성을 확인한 것으로 해석할 수 있다. 단, 시청 전과 후 만을 비교하여 상기와 같은 결론을 내리는 것은 한계가 있을 수 있다. 추후 연구를 통해 3D TV 시청 중에 자율신경계 기능의 변화를 확인할 필요성이 있을 것으로 보인다.

또한 실험실 환경에서 3D 시각피로를 최대한 유발한 후, 그 반응을 확인한 것으로 본 연구 결과를 일반적인 3D TV 시청환경에 적용하기에는 한계가 있으며, 자율신경계 반응에 영향을 줄 수 있는 다양한 변수들이 존재하기 때문에 그 영향 또한 배제할 수 없다. 추후 연구에서는 본 연구의 한계점을 보완하고 다양한 세부 유발 요인(시청환경 요인, 디스플레이 요인, 디바이스 요인, 콘텐츠 요인 등)을 실험을 통해 검증할 필요성이 있다. 본 연구는 3D 시각피로 연구가 정량적 측정 방법에만 치중되어 있는 한계점을 인지하고 시각피로 자체가 자율신경계 기능에 미칠 수 있는 영향을 확인하였으며 3D 시각피로의 인체 안전성 분야의 기초연구로서 그 의의가 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음(10038745-2010-01, 인체안전성을 위한 3D 기기/장비 중심의 휴먼팩터 연구)

이 논문(저서)는 2011년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <실감교류 인체감응 솔루션> 글로벌프런티어 연구개발 사업으로 수행된 연구임 (한국연구재단-M1AXA003-2011-0028367)

REFERENCES

Baum, T. & Shropshire, AT. (1975). Inhibition of efferent sympathetic nerve activity by 5-hydroxytryptophan in centrally administered 5-hydroxytryphamine, *Neurophamacology,* 14, 227-233.

Furusho, J., Suzuki, M., Takakusa, Y., Kawaguchi, F., Ichikawa, N., & Kato, T. (2002). A comparison survey of seizures and other symptoms of Pokemon phenomenon, *Pediatric Neurology,* 27(5), 350-355.

Heo, H., Lee, E. C., Woo, J. C., Kim, C. J., Park, K. R., & Whang, M. C. (2010). A Realistic game system using Multi-modal user interface, *IEEE Transactions on Consumer Electronics,* 53(6), 1364-1372.

Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue, *Journal of Vision,* 8(33), 1-30.

IWA3:ISO, International Workshop Agreement 3.

Ishigure, Y., Suyama, S., Takaha, H., Nakazawa, K., Hosohata, J., Takao, Y., & Fujikado, T. (2004). Evaluation of visual fatigue relative in the viewing of a depth-fused 3-D display and 2-D display, *Proc Int Diso Worksjops,* 11, 1627-1630.

Kim, C. J., Whang, M, C., Kim, J. H., Woo, J. C., Kim, Y. W., & Kim, J. H. (2010). A Study on Evaluation

of Human Arousal Level using PPG Analysis(PPG 분석을 이용한 각성도 평가에 관한 연구), *Journal of the Ergonomics Society of Korea,* 29(1), 113-120.

Kim, J. H., Whang, M, C., & Nam, K. C. (2008). Development of Continuous Blood Pressure Measurement System Using ECG and PPG(ECG와 PPG를 이용한 실시간 연속 혈압 측정 시스템), *Korean Society for Emotion & Sensibility,* 11(2), 235-243.

Kuhn, D., Wolfe, W., & Loyenburg W. (1980). Review of the central serotonergic neuronal system in blood pressure regulation. *Hypertension,* 2(3), 243-255.

Lee, E. C. (2011). Camera Vision Based System for Quantitatively Measuring Emotional Responses Caused by Visual Stimuli, *In Proceeding of Korean Workshop on Image Processing and Image Understanding,* to be appeared.

Lee, E. C., Heo, H., & Park, K. R. (2010). The comparative measurements of eyestrain caused by 2D and 3D displays. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on,* 56(3), 1677-1683.

Lee, T. K. (2007). Autonomic Nervous System: Clinical Overview(자율신경계의 임상적 개관), *The Korean Society of Clinical Neurophysiology,* 9(2), 49-58.

Li, H.-C. O. (2010a). 3D Human Factors : Steps to Standardizing Guidelines for Human-friendly 3D(3D 휴먼팩터: 표준화와 안전 시청의 구현), *The Korean Information Display Society,* 27(3), 36-41.

Li, H.-C. O. (2010b). Human Factor Research on the Measurement of Subjective Three Dimensional Fatigue(주관적인 3차원 피로감 측정 방법에 대한 휴먼팩터 연구), *The korean society of broadcast engineers,* 15(5), 607-706.

Li, H.-C. O. (2009). Measurement Method for 3D Human Factors: Focusing on 3D Visual Fatigue(3D 휴먼팩터 연구 방법론: 3D 시각 피로를 중심으로), *The Korean Information Display Society,* 10(3), 24-30.

Li, H.-C. O., Seo, J. H., Kham, K. T., & Lee, S. H. (2008). Measurement of 3D Visual Fatigue Using Event-Related Potential (ERP): 3D Oddball Paradigm. *3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video,* 213-216.

McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., & Bradley, R. (2009). The coherent heart: Heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order, *Integral Review,* 5(2), 10-115.

Nichols, M. & Newsome, W. (1999) The neurobiology of cognition, *Nature(London),* 402(6761), 35-38.

Oyamada, H., Iijima, A., Tanaka, A., Ukai, K., Toda, H., Sugita, N., Yoshizawa, M., & Bando, T. (2007). A pilot study on pupillary and cardiovascular changes induced by stereoscopic video movies, *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 4(1), 37.

Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Fulran, R., Pizzinelli, P., Sandrone, G., Malfatto, S., Dell'Orto, S., & Piccaluga, E. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog, *Circulation Research,* 59(2), 178-193.

Polonen, M. & Hakkinen, J. (2009). Near-to-Eye Display—An Accessory for Handheld Multimedia Devices: Subjective Studies, *Journal of Display Technology,* 5(9), 358-367.

Pouratian, N., Sheth, S., Martin, N., & Toga, A. (2003). Shedding light on brain mapping: advances in human optical imaging. *Trends in neurosciences,* 26(5), 277-282.

Solimini, A., Mannocci, A., & Thiene, D. (2011). A pilot application of a questionnaire to evaluate visually induced motion sickness in spectators of tri-dimensional (3D) movies, *Italian Journal of Public Health,* 2(8).

Takahashi, M. (2006). LCD vs PDP picture quality status and the task of FPD TVs, *Korean Display Conference COEX,* Seoul. South Korea.

Tran, Y., Wijesuriya, N., Tarvainen, M., Karjalainen, P., & Craig, A. (2009). The Relationship Between Spectral Changes in Heart Rate Variability and Fatigue, *Journal of Psychophysiology,* 23(3), 143-151.

Trejo, L. J., Knuth, K., Prado, R., Rosipal, R., Kubitz, K., Kochavi, R., Mattews, B., & Zhang, Y. (2007). EEG-Based Estimation of Mental Fatigue: Convergent Evidence for a Three-State Model, *Lecture Notes in Computer Science,* 201-211.

원고접수 : 2011.11.12
수정접수 : 2011.12.09
게재확정 : 2011.12.19