

## 시각적 자극의 정서가와 정서강도에 따른 동공크기 변화\*

맹 세 호

정 윤 경<sup>†</sup>

이 중

가톨릭대학교 심리학과  
발달심리학 전공

국립과학수사연구원  
문서영상과

동공크기의 변화는 활성화된 심리적 상태, 혹은 정서적 각성을 측정하는데 유용하기 때문에 여러 연구자들에 의해 심리적 활동 과정을 이해하는 지표로 사용되었다. 본 연구는 시각적 자극의 긍정적, 부정적, 중립적 정서가(emotional valence)에 따른 동공크기의 차이를 탐색하고 자극의 객관적, 주관적 정서강도와 동공크기 사이의 관계를 살펴보기 위하여 설계되었다. 이를 위하여 성인 실험참가자 102명(남 28, 여 74)을 대상으로 International Affective Picture System(IAPS: Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008)에 의해 평정된 정서자극을 제시하고 동공크기의 변화를 측정하고 각 자극의 강도에 대한 주관적 경험을 보고하도록 하였다. 연구 결과, 정서가에 따라 동공크기의 변화가 유의미한 것으로 나타났다. 사후검증 결과 부정적, 긍정적 정서가를 가진 자극과 중립적 자극 사이의 동공크기는 유의미한 차이를 나타냈으나 긍정적 자극과 부정적 자극 사이의 동공크기 변화는 유의미하지 않았다. 정서강도(객관적/주관적)와 동공크기의 상관분석 결과 자극의 객관적 정서강도와 주관적 정서강도가 동공크기와 정적관계를 가지는 것을 검증하여 정서적 자극에 대한 주관적 경험의 강도가 증가함에 따라 동공의 크기가 확장됨을 확인하였다.

주요어 : 동공크기, 정서가, 정서강도, 정서적 각성, 자율신경계의 활동

\* 본 연구는 한국장학재단의 2012년도 국가연구장학금(인문사회계)의 지원을 받아 수행되었습니다.

<sup>†</sup> 교신저자: 정윤경, 가톨릭대학교 심리학과, (420-743) 경기도 부천시 원미구 지봉로 43

Tel: 02-2164-4470, E-mail: benijeong@catholic.ac.kr

정서는 인간행동의 중요한 요소로서 이에 대한 연구는 오래전부터 진행되어 왔으며 정서적 상태, 긴장, 주의, 등 심리적 활동과 많은 관련이 있다고 알려져 왔다(Duchnowski, Knott, Nunnally & Parker, 1967). 지금까지 주관적 정서경험을 측정하기 위해 자기보고나 인터뷰 등의 방법을 사용해 왔지만 시간에 따라 정서가 다르게 경험되거나 평가 시점에 따라 다른 경험을 하는 것과 같은 제한점을 가지고 있다(이경화, 이임갑, 손진훈 1999). 이러한 제한점을 극복하고 정서경험에 대한 객관적 측정을 위해 EEG, ECG, fMRI와 피부전기반응 등 생리적 지표를 사용한 연구들이 활발히 진행되고 있다(Coan, & Allen 2004; Williams, et, al., 2005).

정서의 생리적 반응은 중추신경계의 통제를 받는 자율신경계와 체성신경계로 구성된 말초신경계와 많은 관련이 있다. 더불어 대뇌피질, 시상하부, 편도체 등이 정서반응과 관련이 있으며 특히 시상하부는 자율신경계의 반응과 밀접한 관계가 있기 때문에 정서적 경험과 자율신경계의 반응 역시 밀접한 관계를 가지고 있다(Cacioppo, Berntson, Larsen, Poehlmann, & Ito, 2000; LeDoux & Phelps, 2000).

일반적으로 자율신경계의 활성 정도를 측정하는 방법으로 GSR(galvanic skin response)과 ECG(electrocardiogram) 등이 있다. GSR은 교감신경계의 활성으로 인해 분비된 땀으로 인해 피부의 전기적인 특성이 변하는 것을 활용하여 자율신경계의 반응을 관찰하는 방법이다(Tarvainen, et, al., 2001). GSR은 비교적 간단히 자율신경계의 활동을 관찰할 수 있지만 측정이 교감신경계로 제한되고 피부의 상태, 습도, 기압에 의해 영향을 받으며 일정 시간의 시간을 요구하기 때문에 자율신경계의 활동을 측

정하는데 제한점이 있다(Surwillo, W. W. 1969). 심장의 전기적 특성을 기록하는 ECG를 사용하여 심박변이율(HRV)을 계산하는 방법 역시 일정시간 이상을 측정해야 하며 전극의 부착 상태나 실험참가자의 움직임에 의한 잡음(motion artifact)에 민감한 영향을 받기 때문에 정확한 자율신경계의 활동을 측정하기 어렵다(DeBoer, Karemaker, & Strackee, 1984; McNames, Thong, & Goldstein, 2003).

한편 동공은 홍채에 있는 두 개의 근육에 의해 크기가 변화한다. 이는 눈으로 들어오는 빛의 양을 조절하는 일차적인 기능을 가지고 있다. 기질층(stromal layer)에 있는 동공괄약근은 Edinger-Westphal 세포핵으로부터 부교감신경을 거쳐 콜린성(cholinergic)의 통제를 받는다. 동공확대근은 인두수축근(constrictor muscle) 뒤에 위치하고 있으며 상교감신경절(superior sympathetic ganglion)에서 뻗어 나온 아드레날린성(adrenergic) 섬유에 의해 자극을 받는다(Bram C. G. 1972). Steinhauer, Siegle, Condray와 Pless (2004)의 연구에서도 동공은 두 개의 다른 근육에 의해 통제되고 각각 교감신경과 부교감신경에서 뻗어 나온 신경섬유에 의해 영향을 받는다는 것을 확인하였다. 즉 동공크기의 확장과 수축에는 각각 한 개씩의 독립적인 신경연결이 관여하고 있기 때문에 반응을 나타낸 심리생리학적 원인을 찾기 쉽다는 장점이 있다.

따라서 동공반응은 여러 연구자들에 의해 심리적 활동의 과정을 잘 설명할 수 있는 지표로서 사용되었다(Jainta, & Baccino., 2010). 뇌의 인지 및 정서적 활동을 탐색하기 위해 동공측정 방법을 사용하는 것은 fMRI나 열화상 카메라(thermal imaging camera)를 이용하는 것보다 경제적이고 편리한 장점을 가지고 있다

(김희송, 이중, 홍현기, 박병욱, 서중석, 2011).

초기 연구들에서는 동공크기를 측정하기 위해 촬영한 동공을 필름지에 인화하여 수작업으로 동공크기를 측정하였기 때문에 정확성이 떨어질 수밖에 없었지만 최근에는 컴퓨터와 영상처리기술의 발달로 동공크기를 정확하게 측정할 수 있게 되었다(김지은, 2004; Ohtsuka, Asakura, Kawasaki, & Sawa., 1988). 또한 Calcagnini, Lino, Censi와 Cerutti(1997, 2000)는 자율신경계를 활성화 시킨 후 동공크기의 변화와 ECG를 병행 측정하여 동공크기를 통해 자율신경계의 활성화 정도를 독립적으로 탐색할 수 있음을 주장하였다. Causse, Sénard, Démonet, 와 Pastor(2010)는 심박과 동공크기의 변화를 비교하는 연구를 통하여 심박수의 증가와 동공크기의 확장이 과제 속성에 따라 다르게 나타나는 것을 발견하였다. 언어적, 논리적 요소를 가지고 있는 연역적 과제에서는 심박수가 유의하게 증가하였으나 동공크기의 변화는 시각적 주의를 요구하는 동적 과제에 좀 더 민감한 것으로 나타났다. 최근의 동공크기의 변화와 관련된 연구들은 fMRI를 이용한 측정들과 비교를 통해 그 타당성이 입증되면서 많은 연구자들이 자율신경계의 활성화 정도를 측정하기 위해 동공측정 방법을 사용하고 있다(Granholm, & Steinhauer, 2004). 한편 기존의 자율신경계의 활성화연구를 위한 측정 방법들 간의 비교연구와 별개로 안구운동을 측정하기 위한 안구추적(eye-tracking)기술의 발달도 실험참가자에게 센서를 접촉시키거나 기기 안에 들어가게 하지 않고도 자율신경계의 활동을 모니터링 할 수 있게 되었다(Partala, & Surakka, 2003).

공포를 느끼면 동공의 크기가 커지듯 동공 크기의 변화는 정서적 활동과 많은 관련성이

있다. 동공의 활동에 대한 초기 연구들은 빛에 의한 동공반사나 눈의 순응에 대한 연구들이 대부분이었다(Lowenstein, 1920). 이후 동공 반응의 연구들에서는 일정한 조도를 유지하고 눈이 이에 순응한 상태에서의 동공변화는 피로, 성(性)적, 정치적 선호 및 정신적 노력과 같은 생리학과 심리학의 다양한 요인들과 관련이 있다는 것을 발견하였다(Goldwater, 1972; Tryon, 1975). Steinhauer, Boller, Zubin과 Pearlman (1983)는 정서가를 가진 시각적 자극을 제시했을 때 동공이 확장되는 것을 발견했다.

동공크기와 정서의 관계에 대한 체계적인 연구는 Hess와 Polt(1960)에 의해 처음으로 시작되었다(Hoeks, & Levelt, 1993). Hess(1960)는 pin-up사진을 이용한 연구에서 여성보다 남성이 이성의 pin-up사진에 대한 동공크기의 변화가 더 크게 나타남을 발견하였다. 여성의 경우 남성보다 아이나 아이와 엄마가 같이 있는 사진에서 동공이 더 확장되는 것을 발견하였다. 또한 Hess와 Petrovich(1987)의 연구에서는 여성들이 남성에게 가지는 호감의 정도가 클수록 동공의 크기가 커지는 것을 관찰 하였다.

시각적 자극 뿐만 아니라 청각적 자극을 이용하여 동공크기의 변화와 정서에 대한 연구가 진행되었다. Bradley와 Lang(1999)은 체계적인 연구를 통해 총 117개의 정서적 음성자극으로 구성된 International Affective Digitized Sounds(IADS)라 불리는 정서적 음성자극을 제작하였다. Partala와 Surakka(2003)는 이 자극을 이용하여 정서적 과정의 지표로서의 동공크기의 변화에 대해 연구하였다. 연구결과 중립적 자극보다 부정적 음성자극과 긍정적 음성자극에 따른 동공의 크기가 유의미하게 커지는 것을 관찰하였다.

Bradley, Miccoli, Escrig와 Lang(2008)은

International Affective Picture System(IAPS: Lang et al., 2005)을 사용하여 정서자극에 따른 동공 크기의 변화를 측정된 연구를 진행하였다. 연구결과 긍정적인 자극과 부정적인 자극에서는 동공의 확장이 유의미 하였으나 중립적 자극에서는 동공크기의 변화가 유의미하지 않았다. 위의 두 연구를 통해 정서를 유발하는 자극에 따른 동공크기의 변화를 관찰한다면 정서와 관련된 자율신경계의 활동을 모니터링 할 수 있는 것으로 볼 수 있다.

동공크기의 변화는 자율신경계 활동의 지표와 더불어 심리적 처리과정에 대한 지표로 활용될 수 있다(Hoecks & Levelt, 1993). Moresi 등(2008)의 연구에서 동공크기의 확장은 높은 수준의 인지적 부하와 관련이 있는 것을 관찰했으며, Recarte와 Nunes(2003)은 모의주행을 하는 동안 여러 가지 인지적 과제를 부여하는 실험에서 동공크기의 확장이 심리적 작업부하와 유의미한 관련성이 있음을 확인하였다.

최근에는 거짓말 탐지분야에서도 동공반응의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 거짓말 탐지에 동공반응을 사용할 수 있는 이유는 처벌에 대한 두려움에서 유발된 생리적 반응을 이용하는 것으로 동공반응이 뇌의 인지적 및 정서적 정보처리와 관련이 있고(Partala, & Surakka, 2003) 교감신경의 흥분에 따른 동공의 변화를 통해 거짓말을 탐지할 수 있기 때문이다(김희송, 이중, 홍현기, 박병욱, 서중석, 2011).

컴퓨터와 관련된 기술들이 발전하면서 측정시스템의 조작이 간단해지고 범용성이 확장되면서 이를 이용한 동공연구들도 활발하게 진행되었다. Bernhardt, Dabbs와 Riad(1996)는 Macintosh를 이용한 동공측정 시스템을 사회심리학 분야의 연구에 적용해 본 후 임상심리나

발달심리영역의 연구에도 확장할 필요성이 있음을 주장하였다.

정서와 생리적 반응간의 연구들은 순수 심리학 영역보다 공학영역에서 많은 연구들이 이루어지고 있다. 특히 HCI(human computer interaction) 분야에서 디자인 혹은 인터페이스에 대한 생리적 반응을 사용자 경험(user experience)으로 활용하여 기기와의 새로운 상호작용을 이끌어내기 위해 인간의 생리적 반응과 정서적 경험 간의 관계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구들의 결과 인공지능을 가진 기기들(intelligent machines), 생체인식 감지기를 사용하는 감성 컴퓨팅 기술(affective computing)과 신경정보과학(neuro-informatics)같은 HCI 분야의 발달을 가져왔으며 사용자의 행동 혹은 생리적 반응을 활용하는 기술들을 발전시키고 있으며 이러한 기술들은 인간과 기술의 상호작용을 조절하는 역할을 할 것이다(김영미, 2010; Partala, & Surakka, 2003). 특히 감성 컴퓨팅 기술은 가상 현실 혹은 감성로봇을 이용하여 신경행동장애 치료분야에 활발히 사용되고 있다(윤현중, 정성엽, 2010). Rizzo 등(2005)의 연구에서 가상교실을 활용하여 주의력결핍 과잉행동장애를 진단하고 치료할 수 있다고 주장하였으며 이를 바탕으로 사회불안장애와 신경행동장애의 진단 및 치료법을 개발하고 있다. 또한 자폐스펙트럼장애 아동의 진단 및 치료를 위해 자폐아동의 감정상태를 인식하여 현재 감정 상태에 적합한 상호작용을 유도하거나 자폐아동의 장애영역을 파악하여 집중적인 교육과 치료를 가능하게 할 것이라 제안하고 있다(윤현중, 2011).

본 연구의 목적은 시각적 자극의 정서가에 따른 동공크기 변화 및 자극의 객관적/주관적

정서강도와 동공크기의 변화 사이의 관계를 탐색하는데 있다. 이를 통해 정서반응과 관련된 동공크기의 변화에 대한 실질적 활용을 위한 중간과정으로서의 가능성을 제시할 수 있을 것이다. 객관적 정서강도는 IAPS의 표준화된 정서강도를 사용하였으며 IAPS 자극에 대한 본 연구에 참여한 실험참가자의 보고를 주관적 정서강도로 사용하였다. IAPS를 이용한 Lang 등(2008)의 연구에서 정서적 각성이 동공의 확장을 유발하며 교감신경계의 활동이 증가함에 따라 동공이 확장된다고 주장하였다. 즉 개인의 주관적 정서경험의 강도가 강해질수록 동공크기의 변화 역시 크게 나타날 것으로 볼 수 있다. 청각적 정서유발자극인 IADS를 사용한 Partala와 Surakka(2003)의 연구에서는 청각적 자극도 동공의 확장을 유발하는 결과가 나타났다.

자극의 정서성에 따른 동공의 반응과 정서적 각성의 지표로서 동공크기의 변화에 대한 연구는 많지 않으며(Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008), 국내 심리학 분야에서도 fMRI, 심박 수 측정, 피부전기반응 등 전기-생리학적 방법을 통한 정서 연구들이 종종 이루어지고 있지만(장은혜, 2009), 자율신경계의 활동지표로서 동공의 크기변화와 정서과정의 관계에 대한 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 또한 IAPS 자극에 대한 평정결과를 한국인 실험참가자의 평정결과와 비교한 연구들은 종종 이루어지고 있지만(박태진, 박선희, 2009; 석현정, 정상훈, 박종민, 박진영, 정은빛, 2007) IAPS를 사용하여 동공의 크기변화를 관찰한 연구는 이루어지지 않고 있다. 따라서 정서경험에 대한 객관적 측정과 정서와 관련된 자율신경계의 활동을 관찰하기 위한 다양한 연구들이 필요하다.

정서적 경험은 생리적 반응의 변화를 수반

하며 생리적 변화에 대한 연구는 정서과정에 대한 객관적인 측정을 가능하게 한다. 더불어 정서를 경험하는 정도(magnitude)로서 정서적 강도(emotional intensity)역시 객관적 측정이 가능할 것으로 생각할 수 있다.

본 연구에서는 한국인 실험참가자를 대상으로 시각적 정서 자극에 대한 객관적 강도뿐 아니라 실험참가자가 주관적으로 경험한 정서의 강도를 보고하도록 하여 동공 크기 변화와의 관련성을 검증하고자 하였다. 첫째, 자극의 정서가에 따른 동공크기의 변화를 탐색할 것이다. 두 번째 IAPS의 객관적 평정치와 실험참가자의 동공크기변화의 관계를 살펴볼 것이다. 이를 통해 정서자극에 대한 객관적 평정치가 독립적인 개인에게 적용될 수 있는지를 확인할 수 있을 것이다. 마지막으로 자극에 대한 실험참가자의 주관적 평정과 동공의 크기변화의 관계를 확인할 것이며 본 연구를 통해 IAPS를 활용한 동공크기 변화와 관련된 국내 연구들에 타당성을 제시할 수 있을 것이며 구체적으로 다음과 같은 연구 문제를 갖는다.

**연구문제 1.** 자극의 정서가에 따라 동공크기의 변화에 차이가 있는가?

**연구문제 2.** 자극에 대한 객관적 정서강도와 동공크기의 변화 사이에 관계가 있는가?

**연구문제 3.** 자극에 대한 주관적 정서강도와 동공크기의 변화 사이에 관계가 있는가?

## 방 법

### 연구대상

IAPS의 표준화 평정과정에 참여한 실험참가

자들과 비슷한 연령대의 대학생 138명을 대상으로 실험을 실시하였다. 실험참가자 모집 전 공포영화나 혹은 부정적 시각적 자극에 대한 혐오나 과민반응의 경험이 있는지에 대한 여부를 확인하여 실험 참가에 부적절한 실험참가자들을 screening하였으며 138명 중 눈이 작아 동공축경이 어려운 36명을 제외한 102(남: 28 여: 74)명의 자료가 분석에 사용되었다.

측정도구

**International Affective Picture System(IAPS)**

International Affective Picture System(IAPS: Lang, et, al., 2008)는 표준화된 시각적 정서유발자극으로 긍정적, 중립적, 부정적의 세 가지 정서가와 각 정서가에 따른 정서강도를 가지며 약 1000장의 컬러사진으로 구성되어있다.

IAPS는 표준화를 위해 SAM(Self-Assessment Markin)평가방식을 사용하여 100명의 대학생 실험참가자(남:녀=50:50)의 반복평가를 통해 정서강도의 객관적 평정이 이루어졌다. 본 연구는 IAPS의 자극들 중 기존에 평정된 값을 기준으로 선별된 30장의 사진들을 연구에 사용하였다. 부정적 자극 10장(평균 정서가/각성 정도=2.46/5.98), 중립적 자극 10장(평균 정서

표 1. IAPS 평정치와 실험집단의 정서가 비교 (N=102)

		M	SD	t(p)
부정적 자극	원본	2.46	0.44	-1.88 (.093)
	실험 집단	2.84	0.67	
중립적 자극	원본	5.02	0.35	-1.71 (.122)
	실험 집단	5.20	0.43	
긍정적 자극	원본	7.52	0.42	2.23 (.053)
	실험 집단	7.03	0.46	

\*p< .05, \*\*p< .01, \*\*\*p< .001

가/각성정도=5.02/3.01), 긍정적 자극 10장 (평균 정서가/각성정도=7.24/5.04)으로 구성되어있다. 표 1에 IAPS의 정서가 평정치와 실험집단의 정서를 비교 제시하였으며 IAPS의 정서가 평정치와 실험 집단 간 차이는 나타나지 않았다.

IAPS를 제공받은 기관과의 협약에 따라 자극을 직접적으로 제시하지 못했으며 실험에 쓰이는 자료와 유사한 자극들이 그림 1에 제시되어있다. 1번 사진은 부정적 자극, 2번은 중립적 자극, 3번은 긍정적 자극의 예시이다.

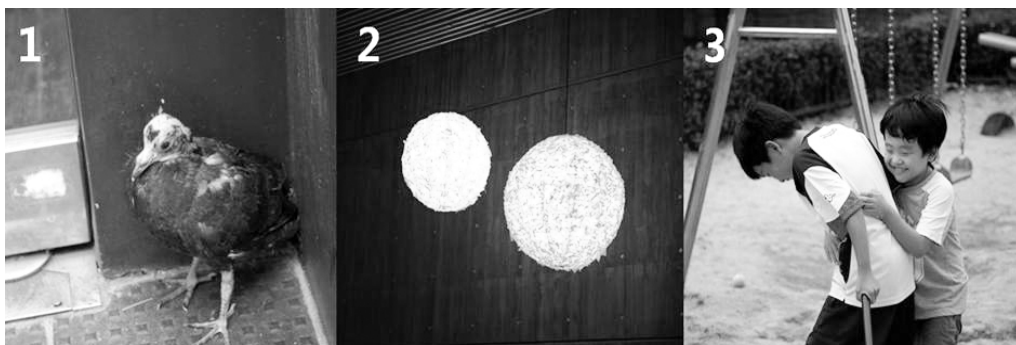
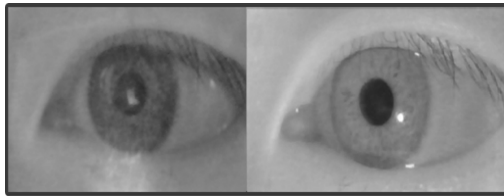


그림 1. IAPS 자극예시(1. 부정적 자극, 2. 중립적 자극, 3. 긍정적 자극)

동공의 크기변화는 자극의 밝기나 색이 가지는 값에 따라 달라지기 때문에 자극의 밝기와 색에 의한 혼입을 통제하기 위해 Adobe Photoshop CS4를 사용하여 모든 자극을 흑백으로 변환하고 luminance를 동일하게 조절하여 실험에 사용하였다.

### 적외선 CCD Camera

동공과 홍채를 명확히 구분하기 위해 적외선 카메라를 제작하였으며 동공의 변화를 영상으로 기록하였다. 그림 2에 일반촬영과 적외선 촬영을 비교하여 제시하였다. 본 연구를 위해 일반적으로 사용되는 web cam에서 적외선 차단 필터를 제거하여 CCD가 적외선을 인식할 수 있게 제작하였다. 적외선 LED는 외부 설치하여 안구 주변부까지 밝게 비출 수 있도록 하였다. 적외선이 기기의 구성과 착용예시는 그림 3과 그림 4에 제시되어있다. 헬멧 형태로 기기를 머리에 고정하기 때문에 목을 움직여도 동공을 일정하게 촬영할 수 있도록 제작하였다. 영상은 960\*720의 HD급 해상도로 초당 15프레임으로 녹화되었다. 본 연구에 사용된 기기는 영상 녹화시 최대 30frame/s의 sampling rate를 지원하나 해상도가 낮아지는 단점이 있다. 일반적으로 실시간 동공 영상시스템의 경우 평균 5~15프레임을 획득하여 분석하기 때문에 보다 선명한 영상을 얻기 위해 sampling rate를 15frame/s로 설정하였다. 더불어 15frame/s로 녹화 하여도 0.06초마다 1장의 frame이 녹화되기 때문에 동공반응이 나타나는 0.2초 동안(Lowenstein & Loewenfeld, 1962) 약 3장의 frame을 저장할 수 있다.



일반 촬영                      적외선 촬영  
그림 2. 일반촬영과 적외선 촬영 비교



그림 3. 동공측정 기기의 구성



그림 4. 카메라 착용 모습

외선 촬영을 비교하여 제시하였다. 본 연구를 위해 일반적으로 사용되는 web cam에서 적외선 차단 필터를 제거하여 CCD가 적외선을 인식할 수 있게 제작하였다. 적외선 LED는 외부 설치하여 안구 주변부까지 밝게 비출 수 있도록 하였다. 적외선이 기기의 구성과 착용예시는 그림 3과 그림 4에 제시되어있다. 헬멧 형태로 기기를 머리에 고정하기 때문에 목을 움직여도 동공을 일정하게 촬영할 수 있도록 제작하였다. 영상은 960\*720의 HD급 해상도로 초당 15프레임으로 녹화되었다. 본 연구에 사용된 기기는 영상 녹화시 최대 30frame/s의 sampling rate를 지원하나 해상도가 낮아지는 단점이 있다. 일반적으로 실시간 동공 영상시스템의 경우 평균 5~15프레임을 획득하여 분석하기 때문에 보다 선명한 영상을 얻기 위해 sampling rate를 15frame/s로 설정하였다. 더불어 15frame/s로 녹화 하여도 0.06초마다 1장의 frame이 녹화되기 때문에 동공반응이 나타나는 0.2초 동안(Lowenstein & Loewenfeld, 1962) 약 3장의 frame을 저장할 수 있다.

### 동공크기 분석 프로그램

동공의 크기는 MATLAB 10.0을 기반으로 분석 시스템을 구현하였다. 출력은 표 2와 그림 5에 제시되어있다. 우선 그림 5와 같이 동영상의 각 프레임별로(1/15초) 동공의 테두리와 중심점을 측정한 결과가 이미지 파일로 저장된다. 따라서 프레임별로 동공이 정확히 측정되어있는지 확인할 수 있다. 동공 크기는 1.5mm부터 9mm까지 변화의 폭이 크며(Lowenstein & Loewenfeld, 1962) 본 프로그램은 영상을 초당 15프레임으로 분석하기 때문에 약 0.06초 단위로 동공의 움직임을 정밀하게 측정할 수 있다.

표 2. 동공 영상 분석 프로그램 결과 예시

frame No.	axis X	axis Y	radius (pixel)
figure 1	center_X 143	center_Y 114	radius 11
figure 2	center_X 143	center_Y 115	radius 11
figure 3	center_X 143	center_Y 116	radius 11
.	.	.	.
figure 81	center_X 144	center_Y 116	radius 8
figure 82	center_X 143	center_Y 116	radius 8
.	.	.	.
figure 149	center_X 140	center_Y 116	radius 10
figure 150	center_X 146	center_Y 114	radius 11



그림 6. 실험 세팅



그림 5. 분석 결과이미지

### 절차

실험은 자연광을 완전히 차단한 암실에서 진행되었으며 실험자의 컴퓨터에서 나오는 불빛을 차단하기 위해 검은 박스를 설치하였다 (그림 6). 자극은 19inch LCD모니터로 실험참가자와 모니터 사이의 거리는 30cm를 유지시켰다. 기저선 측정을 위해 휴지기에 제시되는 자극에 동공의 크기를 순응시킨 후 실험을 실시하였다. 순서효과를 통제하기 위해 자극의 순서와 정서가를 무선 할당하여 총 6개의 세트를 제작하였으며 각 세트를 실험참가자에게

무선 할당하여 실험을 실시하였다. 각각 세트와 자극 순서에 따른 차이는 나타나지 않았다.

자극은 1024x768의 동일한 해상도로 제시되었으며 색에 따른 동공의 반응을 통제하기 위해 흑백으로 변환하였다. 더불어 자극의 밝기를 동일하게 맞춰 밝기에 따른 동공크기의 변화도 통제하였다. 각 자극은 10초 동안 제시되었으며 뒤이어 10초의 휴지기가 제시되었다. 휴지기 동안 제시되는 자극은 실험세션에서 사용되는 자극의 밝기와 동일한 회색 화면을 사용하였다. 실험이 종료된 후 A5사이즈로 인쇄된 자극 사진을 제시한 후 자극에 대한 정서가와 강도에 대한 주관적 경험을 보고하도록 하였다.

정서가에 대한 주관적 보고는 1에서 9까지의 likert식 척도를 사용하였으며 가장 부정적이라 느껴질 경우 1을 선택하고 가장 긍정적이라 느껴질 경우 9를 선택하도록 하였다. 정서강도에 대한 주관적 보고역시 1에서 9까지의 likert식 척도를 사용하였으며 가장 약하다고 느껴지면 1을 선택하도록 하고 가장 강하게 느껴지면 9를 선택하도록 하였다.



**자료처리**

동공의 크기변화를 정밀하게 분석하기 위해 고화질 영상을 resize하여 영상의 선명도를 높인 후 이를 초당 15프레임의 사진파일로 변환하였다. 프레임별로 추출한 사진을 동공크기 분석프로그램을 통해 동공의 중앙점이 측정된 좌표들을 산포도로 나타낸 후 좌표의 X축과 Y축의 평균으로부터 2표준편차 떨어진 곳에서 측정된 동공크기는 분석에서 제외되었다. 이는 실험참가자가 눈을 깜박일 경우 눈꺼풀에 동공이 가려져 동공이 측정되지 않았기 때문에 발생하는 것으로 제거된 측정치는 실험참가자별로 평균 3%(실험참가자 별 총 4500개의 측정치 중 130~150개 내외)의 오측정 좌표가 있는 것으로 나타났다. 그림 7에 오측정 좌표의 제거과정을 제시하였다.

동공크기의 변화는 빛의 밝기에 따라 순응기를 지나 동공크기의 확장은 인지적 부하 혹은 심리적 작업부하와 관련이 있으며(Moresi, et. al., 2008; Recarte & Nunes, 2003) 실험참가자들의 동공반응 반응 역시 10초 동안 계속해서 나타났기 때문에 자극이 제시되는 10초 동안의 동공크기 변화를 모두 반영하였다. 측정된 동공의 반지름을 pixel 단위에서 mm단위로 변환 한 후 상대적인 크기변화량을 비교하기 위해 기저선을 기준으로 확장된 동공의 넓이를 %로 환산하였다. 자료처리과정을 그림 8에 제시하였다.

**분석**

IBM SPSS Statistics 20을 사용하여 다음과 같

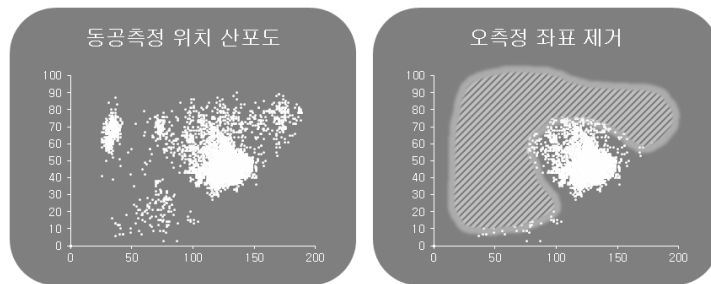


그림 7. 동공측정위치 확인 및 오측정 좌표 제거

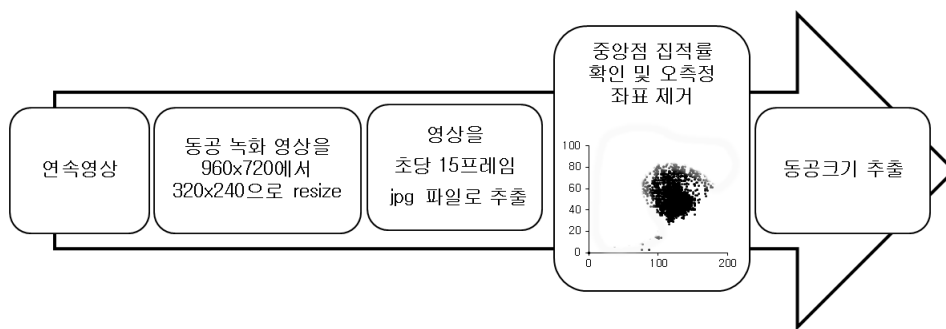


그림 8. 자료처리과정

은 통계처리 방법을 통해 분석하였다.

- 1) 자극의 정서가에 따른 동공크기 변화의 차이를 알아보기 위해 일원변량분석 실시하였다.
- 2) 자극의 객관적 및 주관적 정서강도와 동공크기 간의 관계를 탐색하기 위해 상관 분석 실시하였다.

### 결 과

#### 자극의 정서가에 따른 동공크기의 변화

시각적 자극의 정서가에 따른 동공크기 변화의 일원변량분석 및 사후분석 결과는 표 3과 같다. 동공크기의 변화는 자극의 정서가에 따라 유의미한 차이를 보였다( $F(2, 27)=9.36, p<.01$ ). 부정적 자극에서 동공크기가 기저선보다 14%( $SD=0.03$ )로 가장 크게 확장되었으며 다음으로 긍정적 자극에서 12%( $SD=0.03$ )확장되었다. 중립적 자극에서 동공은 8%( $SD=0.03$ )로 가장 적게 확장되었다. 사후검증 결과 부정적 자극과 긍정적 자극에서의 동공확장은 유의미한 차이나 나타나지 않았으나 정서가를 가진 자극과 중립적 자극 간의 동공크기의 확장은 유의미한 차이가 나타났다. 그림 9에 자

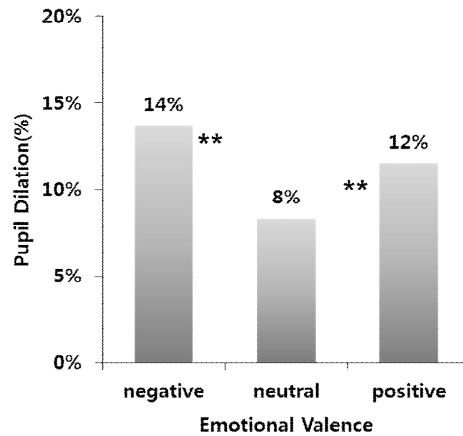


그림 9. 정서가에 따른 동공크기의 변화

극의 정서가 따른 동공의 크기변화를 그래프로 나타냈다.

#### 자극의 객관적 및 주관적 강도와 동공크기 간의 관계

측정변인들 간의 상관을 표 4에 제시하였다. IAPS의 정서강도와 실험집단의 자극에 대한 주관적 보고 사이에 유의미한 정적 상관이 나타났으며( $r=.81, p<.01$ ). 자극의 객관적 강도(IAPS의 평정치)와 실험참가자들의 동공크기의 변화 사이에 유의미한 정적 상관이 나타났다( $r=.49, p<.01$ ). 보다 구체적으로 객관적 정서강도의 크기가 커질수록 실험참가자의 동공크

표 3. 시각적 자극의 정서가에 따른 동공크기의 변화( $N=102$ )

	Stimuli	M	SD	F	사후검증 <i>scheffe</i>
동공크기 변화	부정적 자극(I)	1.14	0.03	9.63**	II < I, III
	중립적 자극(II)	1.08	0.03		
	긍정적 자극(III)	1.12	0.03		

\* $p<.05$ , \*\* $p<.01$ , \*\*\* $p<.001$

표 4. 측정변인간의 상관 (N=102)

	객관적 정서강도	주관적 정서강도
주관적 정서강도	.81**	
동공의 크기 변화	.49**	.69**

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

기도 커지는 것으로 볼 수 있다.

자극의 주관적 강도와 동공크기 간의 관계

자극에 대한 주관적 강도(실험참가자들의 평정치)는 객관적 강도(IAPS의 평정치)보다 동공의 크기변화와 보다 높은 유의미한 정적상관을 가지는 것으로 나타났다( $r=.69, p<.01$ ). 보다 구체적으로 자극에 대해 실험참가자들이 경험한 정서강도가 커질수록 동공의 크기가 보다 확장되는 것이라 할 수 있다. 주관적 정서강도와 동공크기간의 관계를 그림 10에 제시하였다.

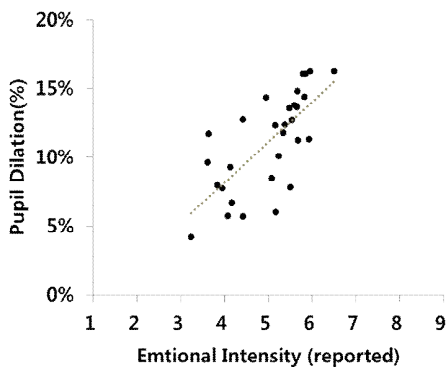


그림 10. 주관적 정서강도와 동공크기의 변화

논 의

본 연구에서는 정서적 각성의 지표로써 동공크기의 변화를 탐색하고자 하였다. 이를 위하여 시각적 자극의 정서가에 따른 동공크기 변화를 확인하고 자극이 가진 정서적 강도와 동공크기변화 사이의 관계를 살펴보았다. 특히 본 연구에서는 실험참가자가 주관적으로 경험한 정서적 강도와 동공 크기의 변화를 탐색하였으며 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 시각적 자극의 정서가에 따른 동공크기 변화의 유의미한 차이가 나타났다. 정서적 경험을 거의 유발하지 않는 중립적 자극보다 긍정적 정서나 부정적 정서를 유발하는 자극을 제시 했을 때 실험참가자의 동공 크기가 유의미하게 증가 하였다. 긍정적 정서 자극과 부정적 정서 자극에 따른 동공 크기 변화에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이는 정서를 유발하는 음성 자극을 사용하여 동공크기 확장을 측정한 Partala와 Surakka(2003)의 연구와 IAPS를 사용하여 동공크기를 측정한 Lang 등(2008)의 연구 결과와 일치하는 결과이다. 또한 긍정적 자극보다 부정적 자극에서 동공의 확장이 더 크게 나타난다는 Libby, Lacey와 Lacey(1973)의 연구결과와 일치 한다. 본 연구에서도 긍정적 정서 자극에서 보다 부정적 정서 자극에 대한 동공 확장 정도가 크긴 했지만 그 차이가 유의미 하지는 않았다. 이는 동공 크기는 자극에 대하여 실험참가자가 정서 경험 여부는 나타내지만 부정적 자극과 긍정적 자극에 따른 정서과정의 정교한 차이는 드러내지 못함을 제안하는 결과이다. 향후 연구에서는 정서 자극 제시에 따른 동공 확장의 평균 크기 뿐 아니라 시간에 따른 동공크기 변화 패턴에 대한 분석을 통해 보다

정밀한 정서적 경험의 지표로 삼을 수 있을 것이다. 또한 GSR, HRV, ECG 등 다른 생리적 지표와의 관계에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

둘째, 자극의 객관적 및 주관적 정서강도와 동공크기 간의 관계를 탐색한 결과 모든 변인들 사이에서 유의미한 상관관계가 나타났다. 먼저, IAPS에서 제시한 객관적 정서강도와 한국의 실험참가자들이 보고한 주관적 정서강도 사이의 높은 상관관계를 확인하였으며 이는 시각적 정서유발 자극으로서 IAPS의 정서강도가 문화적 차이에 관계없이 유사하게 경험되는 것임을 확인한 것이라 볼 수 있다.

IAPS에서 제시한 객관적 자극 강도와 동공 확장 정도에서 정적 관련성이 나타났으며 이는 정서자극의 객관적 평정치로 독립적인 개인의 자율신경계의 활성화 정도와의 관계를 어느 정도 확인한 것이라 볼 수 있다. 더불어 실험참가자들이 보고한 자극의 정서강도와 동공크기 변화 사이에 강한 정적 관계를 확인하였다. Lang 등(2008)의 연구에서도 높은 각성을 유발하는 자극이 낮은 각성을 유발하는 자극보다 동공을 더 크게 확장시키는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과 또한 이와 일치한다. 따라서 주관적 정서경험의 강도를 동공크기의 변화를 통해 객관적인 수치화가 가능한 것으로 볼 수 있음을 제안할 수 있을 것이다.

요컨대 본 연구의 결과는 동공의 크기변화가 심리적 활동과정 중 정서적 반응성을 측정하는 지표로 활용될 수 있는 가능성을 제안하였다. 특히 개인의 정서 경험 여부와 그 강도에 대한 생리적 반응으로 동공 크기의 역할에 대한 기초적 정보를 제공하여 향후 생리적 반응과 심리적 상태의 관계에 대한 연구의 가능성을 제시하였다. 또한 IAPS의 자극 중에는

만 7세부터 14세의 아동에게 사용할 수 있는 세트도 구성되어있기 때문에 연구대상을 아동으로 확장하는 것도 가능할 것이다. 더불어 자율신경계의 활성화 정도를 신체에 접촉하지 않고 측정할 수 있는 장점은 연구 대상의 연령을 영아기까지 확장시킬 수 있을 것이며, 안구 추적기나 동공측정 장비는 영아의 감각과 지각에 관련된 다양한 연구들에 활용될 수 있을 것이다.

하지만 자율신경계의 활동을 탐색하기 위해 정서적 각성의 지표로서 동공크기의 변화를 이용하는 연구는 아직 시작단계에 있다고 할 수 있다. 본 연구의 발견들을 활용하여 자율신경계의 활동과 관련된 다양한 심리적 변인들을 탐색 탐색하거나 실생활에서의 활용방안들과 연결시키기 위해 아직 많은 연구들이 필요하다.

우선 개인의 정서 경험 및 반응과 생리적 변화와의 관계를 더욱 명확히 규명하기 위하여 동공확장의 절대적 크기와 더불어 시간에 따른 동공 확장의 양태와 변화 과정을 함께 측정하여 할 필요가 있다. 본 연구에서는 동공의 크기변화는 시간에 따라 측정할 수 있었지만 자극제시 시간동안 실험참가자의 정서경험의 보고를 실시간으로 측정하지 못한 한계를 가지고 있다.

또한 정서적 특성의 개인차를 고려한 생리적 반응의 변화에 대한 연구도 필요하다. 가령, 개인차의 변인중 하나로 정서강도(emotional intensity)를 들 수 있다. 정서강도는 정서의 종류에 관계없이 개인이 전형적으로 경험하는 강도를 말한다(Larsen & Diener, 1987). 즉, 정서강도의 수준이 높은 사람은 긍정적 정서든 부정적 정서든 보다 강력하게 경험한다는 것이다. 개인이 정서를 느끼는 과정에는

정서강도와 같은 개인적 경험들이나 자극에 대한 반응성 혹은 부정적 정서나 긍정적 정서를 경험하는 경향성 등 실험실에서 통제할 수 없는 개인 내적인 요인들이 존재한다. 따라서 향후 연구에서는 개인내적인 변인들에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 더불어 본 연구는 실험실에서 통제된 상황에서 발견된 현상이며 실생활에서는 우리의 감각기관에 영향을 미치는 다양한 요인들이 존재하기 때문에 생태학적 타당도를 확보하기 위해 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- 김영미 (2010). 디지털 미디어 인터페이스에서 상호작용 속성과 사용자 경험의 관계성에 관한 연구. 이화여자대학교 박사학위 논문.
- 김지은 (2004). 자율신경활성도 평가를 위한 동공 영상시스템 개발. 경희대학교 석사학위 논문.
- 김희송, 이 중, 홍현기, 박병욱, 서중석 (2011). 적외선을 이용한 동공 측정 시스템의 개발 한국법과학회. 11(2), 40-43.
- 박태진, 박선희. (2009). Iaps 자극에 대한 한국 대학생의 정서 평가. 인지과학, 20(2), 183-195.
- 석현정, 정상훈, 박종민, 박진영, & 정은빛. (2007). 사진 이미지의 색조 변화에 따른 감성적 반응연구. 디자인학연구, 20(5), 229-238.
- 윤현중 (2011). 감성 컴퓨팅 기술을 이용한 자폐 진단/치료 시스템. 자연과학연구논문집, 9(1), 1-7.
- 윤현중, 정성엽 (2010). 자폐스펙트럼장애 진단 및 치료를 위한 감성 컴퓨팅 기술 동향 분석. 감성과학, 13(3), 429-440.
- 이경화, 이임갑, 손진훈 (1999) 정서의 심리적, 생리적 측정 및 지표개발: 기본정서 구분 모델, 한국감성과학회 춘계학술대회논문집, 2, 43-52.
- 장은혜, 손진훈 (2009). 시청각 '공포' 동영상 자극이 뇌 활동과 말초신경계 반응에 미치는 효과. 충남대학교 박사학위 논문.
- Bernhardt, P. C., Dabbs, J. M., Riad, J. K., 1996. Pupillometry system for use in social psychology. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 28(1), 61-66.
- Bram C., G. (1972). Psychological significance of pupillary movements. *Psychological Bulletin*, 77(5), 340-355.
- Bradley MM, Miccoli L, Escrig MA, Lang PJ (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602-607.
- Bradley, M. M., Lang, P. J., 1999. *International affective digitized sounds (IADS): stimuli, instruction manual and affective ratings. Technical Report B-2*, University of Florida, The Center for Research in Psychophysiology, FL.
- Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., Larsen, J. T., Poehlmann, K. M., & Ito, T. A. (2000). The psychophysiology of emotion. In M. Lewis & J. M. Haviland-Jones (Eds.), *Handbook of emotions* (2nd ed., pp.173-191). New York: Guilford Press.
- Calcagnini, G., Lino, S., Censi, F., & Cerutti, S. (1997). Cardiovascular autonomic rhythms in spontaneous pupil fluctuations. *Computers in Cardiology*, 199, 133-136.

- Calcagnini, G., Censi, F., Lino, S., & Cerutti, S. (2000). Pupil diameter variability in humans. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2000. Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE*, 3, 2298-2301.
- Causse, M., Sénard, J., Démonet, J., Pastor, J., (2010). Monitoring cognitive and emotional processes through pupil and cardiac response during dynamic versus logical task. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(2), 115-123.
- Coan, J. A., & Allen, J. J. (2004). Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. *Biological Psychology*, 67(1-2), 7-50.
- DeBoer, R. W., Karemaker, J. M., Strackee, J., (1984). Comparing spectra of a series of point events particularly for heart-rate-variability data, *IEEE Trans. Bio-Med. Eng.* 31, 384.
- Goldwater, B. C. (1972). Psychological significance of pupillary movements. *Psychological Bulletin*, 77(5), 340-355.
- Granholm, E., & Steinhauer, S. R. (2004). Pupillometric measures of cognitive and emotional processes. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 52(1), 1-6.
- Hess, E. H. & Polt, J. M. (1960). Pupil size as related to interest value of visual stimuli. *Science*, 132, 349-350.
- Hess, E. H. (1960). Attitude and pupil size. *Scientific American*, 212(4), 46-54.
- Hess, E. H., Petrovich, S. B., (1987). Pupillary behavior in communication. In: Siegman, A. W., Feldstein, S. (Eds.), *Nonverbal Behavior and Communication*, (pp.327-348) Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Hoeks, B., & Levelt, W. J. M. (1993). Pupillary dilation as a measure of attention: A quantitative system analysis. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc*, 25(1), 16.
- Jainta, S., & Baccino, T. (2010). Analyzing the pupil response due to increased cognitive demand: An independent component analysis study. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 77(1), 1-7.
- J. McNames, T. Thong, and B. Goldstein, (2003). Reliability and accuracy of heart rate variability metrics versus ECG segment duration, in *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2005). *International Affective Picture System (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-6*. Gainesville, FL: University of Florida.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8*. University of Florida, Gainesville, FL.
- Larsen, R. J., & Diener, E. (1987). Affective intensity as an individual difference characteristic: A review. *Journal of Research in Personality*, 21(1), 1-39.
- LeDoux JE, Phelps EA (2000). Emotional networks in the brain. In: Lewis M, Haviland-Jones JM

- (eds) *Handbook of emotions*, (pp.157-172). Guilford, New York.
- Libby, W. L., Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1973). Pupillary and cardiac activity during visual attention. *Psychophysiology*, 10(3), 270-294.
- M. P. Tarvainen, A. S. Koistinen, M. Valkonen-Korhonen, J. Partanen, and P. A. Karjalainen, (2001). Analysis of galvanic skin responses with principal components and clustering techniques, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 48(10), 1071-1079.
- Nunnally, J., Knott, P., Duchnowski, A., & Parker, R. (1967). *Pupillary response as a general measure of activation* Springer New York. doi: 10.3758/BF03210310
- Partala, T. and Surakka, V. (2003) Pupil size variation as an indication of affective processing. *International J. of Human-Computer Studies* 59(1-2), 185-198.
- Rizzo, A. A., Klimchuk, D., Mitura, R., Bowerly, T., Buckwalter, G. B., Kerns, K., Randall, K., Adams, R., Finn, P., Tarnanas, I., Sirbu, C., Ollendick, T. H., & Yeh, S. C. (2005). A virtual reality scenario for all seasons: The virtual classroom, *Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction*, Las Vegas, USA, July.
- Steinhauer, S. R., Boller, F., Zubin, J., & Pearlman, S. (1983). Pupillary dilation to emotional visual stimuli revisited. *Psychophysiology*, 20(4), 472. [Abstract]
- Steinhauer, S. R., Siegle, G. J., Condray, R., and Pless, M. (2004). Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. *International Journal of Psychophysiology*, 52(1), 77-86
- Surwillo, W. W. (1969). Statistical distribution of volar skin potential level in attention and the effects of age. *Psychophysiology*, 6(1), 13-16.
- Tryon, W. W. (1975). Pupillometry: A survey of sources of variation. *Psychophysiology*, 12(1), 90-93.
- Williams, L.A., Das, P., Liddell, B., Olivieri, G., Peduto, A., Brammer, M., Gordon, E., (2005). BOLD, sweat and fears: fMRI and skin conductance distinguish facial fear signals. *NeuroReport* 16(1), 49-52.

1차 원고접수 : 2013. 03. 30.

수정원고접수 : 2013. 09. 25.

최종게재결정 : 2013. 11. 02.

## **Pupillary Responses as an Indication of Emotional Arousal**

**Seho Maeng**

**Yoonkyung Jeong**

**Joong Lee**

Developmental Psychology  
The Catholic University of Korea

National Forensic Service  
Forensic Medicine Department  
Document & Image Division

Pupillary dilation has been used for understanding the process of psychological activity by several researchers. The present study was aimed to find difference in pupillary dilation according to emotional valence of visual stimuli and to reveal relationship between emotional intensity and pupillary dilation. 102 subjects (28 males, 74 females) pupil responses were measured while presenting 10 negative, 10 neutral and 10 positive pictures. The subjects also rated their subjective emotional intensity that they experienced while they were exposed to the stimuli. Our results showed that the amount of pupillary dilation was significantly different according to the valence of emotional stimuli. We found significant difference in pupillary dilation between neutral stimuli and stimuli with emotional valence(negative/positive). But there was no significant difference between positive and negative stimuli. Most importantly, there was significant positive relation between emotional intensity(objective/subjective) and pupillary dilation. These results suggests that pupillary dilation may indicate the level of emotional arousal that a subject experiences.

*Key words* : *pupillary dilation, emotional valence, emotional intensity, emotional arousal, activation of autonomic nervous system*