

저수준 시각적 특질이 위협 탐지에 미치는 효과: 뱀 탐지 이론의 검증

Effects of Low-Level Visual Attributes on Threat Detection:
Testing the Snake Detection Theory

김태훈¹ · 권다솜² · 이도준^{3†}

Taehoon Kim¹ · Dasom Kwon² · Do-Joon Yi^{3†}

Abstract

The snake detection theory posits that, due to competition with snakes, the primate visual system has been evolved to detect camouflaged snakes. Specifically, one of its hypotheses states that the subcortical visual pathway mainly consisting of koniocellular cells enables humans to automatically detect the threat of snakes without consuming mental resources. Here we tested the hypothesis by comparing human participants' responses to snakes with those to fearful faces and flowers. Participants viewed either original images or converted ones, which lacked the differences in color, luminance, contrast, and spatial frequency energies between categories. While participants in Experiment 1 produced valence and arousal ratings to each image, those in Experiment 2 detected target images in the breaking continuous flash suppression (bCFS) paradigm. As a result, visual factors influenced the responses to snakes most strongly. After minimizing visual differences, snakes were rated as being less negative and less arousing, and detected more slowly from suppression. In contrast, the images of the other categories were less affected by image conversion. In particular, fearful faces were rated as greater threats and detected more quickly than other categories. In addition, for snakes, changes in arousal ratings and those in bCFS response times were negatively correlated: Those snake images, the arousal ratings of which decreased, produced increased detection latency. These findings suggest that the influence of snakes on human responses to threat is limited relative to fearful faces, and that detection responses in bCFS share common processing mechanisms with conscious ratings. In conclusion, the current study calls into question the assumption that snake detection in humans is a product of unconscious subcortical visual processing.

Key words: Snake Detection Theory, Threat Detection, Valence, Arousal, Continuous Flash Suppression

요약

뱀 탐지 이론은 영장류가 천적인 뱀과 경쟁하면서 뱀을 효과적으로 탐지할 수 있는 시각 체계를 갖추게 되었다고 설명한다. 구체적인 가설 중 하나는 먼지세포 중심의 피질하 시각 경로가 사람으로 하여금 심적 자원을 사용하지 않고서도 자동적으로 뱀의 위협을 탐지할 수 있게 한다는 것이다. 이에 본 연구는 뱀 영상에 대한 인간 참가자의 반응을 공포 표정의 얼굴 및 꽃에 대한 반응과 비교함으로써 뱀 탐지 이론의 가정들을 검토하였다. 참가자들은 원본 영상을 관찰하거나, 원본 영상에서 색상, 밝기와 대비, 공간주파수 에너지 차이를 제거한 변환 영상을 관찰하였다. 실험 1의 참가자들은 각 영상에 대한 정서가와 각성 유발 정도를 평정하였고, 실험 2의 참가자들은 연속점멸억제 절차에서 표적

* 이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1D1A1B03028539).

* 본 논문의 원자료와 분석 코드가 Github 사이트(https://cogneuro.github.io/bCFS_Snake)에 공개되어 있음.

¹ 김태훈: 연세대학교 심리학과 석사과정

² 권다솜: 연세대학교 심리학과 석사과정

^{3†} (교신저자) 이도준: 연세대학교 심리학과 교수 / E-mail: dojoon.yi@yonsei.ac.kr / TEL: 02-2123-2438

자극을 탐지하였다. 그 결과, 뱀에 대한 반응은 시각 요인의 영향을 가장 크게 받았다. 영상들의 시각적 차이를 제거했을 때, 뱀 영상은 덜 부정적이고 각성을 덜 유발하며 연속점멸억제에서 느리게 탈출하였다. 그에 비해, 다른 범주에 대한 반응은 영상 변환의 영향을 덜 받았다. 특히, 공포 표정의 얼굴은 일관적으로 영상 조건에 상관없이 위협적인 대상으로 평정되었으며 빠르게 탐지되었다. 또한, 실험 1에서 측정된 각성 평정의 변화량과 실험 2에서 측정된 연속점멸억제 탈출 시간의 변화량이 부적 상관을 보였다. 영상 변환 후 각성 평정 점수가 많이 감소한 뱀 영상일수록 탐지 반응시간이 증가하였다. 이러한 결과는 뱀이 인간 관찰자의 위협 탐지 반응에 미치는 영향이 공포 표정의 얼굴에 비해 제한적이며, 연속점멸억제 탈출 반응과 의식적 평정 반응이 처리 기제를 공유할 가능성을 시사한다. 결론적으로 본 연구는 인간의 뱀 탐지가 무의식적 피질하 시각 경로의 산물이라는 가정에 의문을 제기한다.

주제어: 뱀 탐지 이론, 위협 탐지, 정서가, 각성, 연속점멸억제

1. 서론

뱀은 인간이 가장 혐오하고 두려워하는 동물이다. 각종 조사에서 뱀은 늘 사람들이 가장 두려워하는 대상으로 손꼽혀왔다(Brewer, 2001; Moore, 2014; Polák et al., 2020). 영국에서 수행된 연구에서는 응답자의 절반 이상이 뱀을 무서워한다고 답했고, 2~3%는 뱀공포증(ophidiophobia)으로 진단될 만한 수준의 불안을 경험하고 있었다(Davey, 1994). 우리나라에서도 초등 예 비교사들이 교육 과정에 등장하는 동물 중 뱀을 가장 불편해한다는 설문 결과가 보고된 바 있다(Ju, 2014). 뱀공포증은 동물에 대한 공포증 가운데 발병률이 가장 높는데, 다른 공포증과 달리 원인이 될 만한 외상적 경험 없이도 생겨날 수 있다는 점이 특징이다(Fredrikson et al., 1997). 뱀에 대한 공포는 실험적 조작을 통해서도 쉽게 유도될 수 있다. 가령, 참가자는 혐오자극(예, 전기충격)과 짝지어진 조건자극이 꽃이나 버섯일 때보다 뱀 사진인 경우에 공포 조건반응(예, 피부전도반응 증가)을 더 빨리 습득하고 오래 유지한다(Öhman & Mineka, 2001). 이처럼 뱀에 대한 공포 반응이 다양한 형태로 관찰된다는 사실은 그 감정의 기저에 생래적(生來的)인 요인이 있을 가능성을 암시한다.

뱀에 대한 공포의 기원을 설명하기 위해 연구자들은 원시 영장류와 뱀의 관계에 주목하였다. 원숭이들도 인간과 비슷한 뱀 공포 반응을 보이기 때문이다(Cook & Mineka, 1990; Mineka et al., 1980). 나무 위에서 생활하던 원시 영장류에게 뱀은 가장 치명적인, 최초의 천적이었다. 따라서 오랜 진화 과정에서 뱀에 대한 심리생리적 대응 기제가 영장류의 신경계에 반영되었을 것

으로 추정할 수 있다(Öhman & Mineka, 2001, 2003). 흥미로운 사실은 영장류의 뇌가 팽창하던 시기와 맹독을 지닌 뱀이 등장하는 시기가 같고, 여러 영장류 중에서 맹독을 지닌 뱀들과 공존했던 종들만 비대칭적으로 큰 시각피질을 가진다는 점이다. Isbell(2006)은 이러한 논의를 구체화하여, 영장류의 시각 체계가 뱀을 탐지하는 데 유리한 방향으로 진화되었다는 ‘뱀 탐지 이론(snake detection theory)’을 제안하였다. 이 이론에 따르면, 뱀의 존재는 영장류 시각체계에 선택압으로 작용했다. 그로 인해 영장류는 양안을 활용하여 가까운 위치의 물체를 입체적으로 볼 수 있게 되었고, 전문화되고 확장된 시각 기능을 통해 신속히 뱀을 발견할 수 있게 되었다.

구체적으로 뱀 탐지 이론은 영장류의 먼지세포 경로(koniocellular pathway)가 뱀 탐지를 주도한다고 가정한다. 먼지세포는 크기가 작아 영장류의 뇌에서 늦게 발견되었지만, 그 수가 대세포(magnocellular cells)만큼 많고 망막의 신경절세포(retinal ganglion cells)와 슬상핵(lateral geniculate nucleus, LGN), 상구(superior colliculus), 시상침(pulvinar)을 연결하는 복잡한 시각 흐름을 형성한다(Hendry & Reid, 2000; Hendry & Yoshioka, 1994). 이러한 가정의 증거로서 일본원숭이의 상구-시상침 경로에서 발견된 ‘뱀 탐지 뉴런’을 들 수 있다(Van Le et al., 2013). 이 뉴런들은 원숭이가 다른 원숭이의 얼굴 표정과 손 또는 기하학적 도형을 볼 때보다 뱀의 영상을 볼 때 더 강하고 빠르게 반응하였다. 흥미롭게도, 뱀 탐지 뉴런들은 낮은 공간주파수 대역의 정보에 반응한다. 뱀 영상에서 낮은 공간주파수 대역을 제거하면 발화 빈도가 크게 감소했지만, 높은

공간주파수 대역을 제거했을 때는 발화 빈도의 변화가 없었다. 뱀 탐지 뉴런이 낮은 공간주파수에 민감하다는 사실은 뱀이 세부특징(features)을 기반으로 탐지될 가능성을 시사한다.

빠르게 탐지된 뱀 정보는 다른 정보들에 비해 관찰자의 관심을 끌게 된다. 사람 대상의 후속 연구들은 뱀에 대한 지각적 편향(perceptual bias) 현상을 집중적으로 관찰하였다. 뇌전위 연구들은 뱀 영상에 대한 ‘초기 후두부 부적 과형(early posterior negativity, EPN)’을 분석하였다. EPN은 자극 제시 후 225~300ms 무렵에 정점에 도달하는 과형으로서 정서 정보의 초기 선택 과정을 반영하는데(Schupp et al., 2006), 거미나 지렁이, 또는 다른 파충류(악어, 거북이)에 비해 뱀 영상에 대하여 선택적으로 증가한다(Grassini et al., 2016; He et al., 2014; Van Strien, Franken et al., 2014). 뱀에 대한 지각적 편향은 행동실험에서도 자주 보고된다. 어른들(Öhman et al., 2001, 2012; Soares et al., 2014)뿐만 아니라 아동들(Hayakawa et al., 2011; Lobue & DeLoache, 2008)도 시각탐색 과제를 수행할 때 다른 동물이나 사물보다 뱀을 빨리 찾아낸다. 심지어 생후 6개월 미만의 영아도 다른 동물보다 뱀 사진에 더 집중한다는 보고가 있다(LoBue et al., 2017; Rakison, 2018).

선행 연구들은 뱀 영상이 시각 위계의 낮은 단계에서 탐지되어 선택적으로 주의를 끈다는 경험적 증거들을 충분히 제공하였다. 뱀 탐지 이론은 이러한 ‘탐지를 위한 시각(vision for detection)’ 체계가 시의식에 앞서 자동적으로 작동한다고 가정한다. 느리고 용량이 제한된 의식적 처리에 의존할 필요가 없다면 영장류는 뱀을 더 효과적으로 피할 수 있었을 것이다. 이처럼 자동적인 위협 탐지 경로를 가정한다는 점에서 뱀 탐지 이론은 전통적인 위협 탐지 모형의 연장선상에 있다. 여러 연구자들은 상구-시상침 경로에서 편도체(amygdala)로 입력되는 신경신호가 무의식적 경계 반응의 원천이라고 이미 제안한 바 있다(Öhman et al., 2007; Phelps & LeDoux, 2005; Tamietto & de Gelder, 2010). 이러한 전통적 모형에서는 ‘빠르고 대략적인(quick-and-dirty)’ 피질하 경로가 느린 신피질을 우회하여 정서 반응을 일으키고 위협 단서를 향한 주의 전환을 유도한다.

뱀 탐지의 자동성을 증명하려면 관찰자의 의식과 탐지 반응을 분리하는 실험 조작이 필요하다. 빠른 응답

시간만으로는 뱀 탐지가 의식보다 먼저 일어난다거나 심적 자원을 사용하지 않는다고 확신하기 어렵기 때문이다. 의식이 배제된 탐지 반응을 분석하기 위해 Gomes와 동료들(2017, 2018)은 연속점멸억제 탈출(breaking continuous flash suppression, bCFS; Jiang et al., 2007) 절차를 활용하였다. 연속점멸억제란 한 쪽 눈에 제시된, 역동적으로 변하는 차폐자극(masks)에 의해 다른 쪽 눈에 제시된 표적자극이 비교적 오랫동안 의식되지 않는 현상을 말한다(Tsuchiya & Koch, 2005). 이때, 관찰자가 표적을 발견할 때까지 걸린 시간을, 표적이 억제를 벗어났다고 하여 ‘탈출 시간(breaking time)’이라고 부른다. Gomes 등의 실험에서 뱀 영상의 탈출 시간은 거미나 새 영상보다 짧았다(Gomes et al., 2017). 또한, 이러한 결과는 자극 영상 속에 낮은 공간주파수 정보가 보존된 경우에만 관찰되었고, 낮은 공간주파수가 제거된 영상들을 제시했을 때는 뱀과 비교대상의 탈출 시간 차이가 관찰되지 않았다(Gomes et al., 2018). 이 결과를 근거로 연구자들은 무의식적 피질하 경로가 뱀 탐지를 촉진한다고 주장하였다. 뱀 영상의 낮은 공간주파수 정보가 피질하 경로에서 우선적으로 분석되기 때문에 뱀에 대한 의식적 접근이 촉진된다는 것이다. 그러나 이 두 건의 연구 외에는 뱀 탐지의 자동성을 증명하려는 목적으로 수행된 연구가 드물다.

무의식적 위협 탐지에 관한 연구들은 얼굴 표정과 단어 자극을 자주 사용해왔다. 부정적인 감정을 유발하는 얼굴이나 단어를 관찰자가 의식하기 어려운 조건에서 제시하고 행동이나 신경 반응에서 위협 탐지의 흔적을 측정하였다(Keil & Ihssen, 2004; Morris et al., 1998; Whalen et al., 1998). 그러나 Hedger 등(2016)은 여러 실험 방법과 자료에 대한 메타분석을 근거로, 위협 탐지의 자동성을 지지할만한 증거가 희박하다고 주장하였다. 지금까지 분노나 혐오 표정, 부정적인 의미의 단어를 사용한 연구들에서 보고된 효과 크기는 전반적으로 작았고, 그 방향성도 일정하지 않았다. 즉, 위협 탐지가 상대적으로 느린 경우도 있었다. 다만, 공포 표정의 얼굴을 제시한 연구들에서만 자동성의 증거가 일관적으로 관찰된 것으로 드러났다. 따라서 뱀이 자동적으로 탐지된다는 주장의 신뢰도와 타당성을 확인하려면 얼굴 영상을 활용한 선행 연구를 참고할 필요가

있다. 더 나아가, 뱀 탐지 이론을 기존의 위협 탐지 모형과 구별하려면 뱀 탐지만의 독특한 특성을 파악해야 한다. 얼굴은 뱀과 비슷한 반응을 일으킨다. 상구-시상 침 경로의 신경활동을 수반하고(Maior et al., 2010; Nguyen et al., 2014; Troiani & Schultz, 2013), 독특한 초기 EEG 성분을 유발하며(예, N170; Eimer, 2000), 성인뿐만 아니라 유아의 주목을 끈다(Goren et al., 1975; Johnson et al., 1991; Langton et al., 2008; Theeuwes & Van der Stigchel, 2006). 게다가 부정적인 표정은 낮은 공간주파수 대역에서 두드러지고(Vlamings et al., 2009; Winston et al., 2003), 사회공포와 불안을 촉발하는 주요 요인이 된다(Kim et al., 2020; Sohn et al., 2014). 이러한 유사성을 감안할 때, 뱀 탐지 이론의 유용성을 증명하려면 뱀과 얼굴 탐지의 차이를 반드시 이해해야 한다.

이에 본 연구는 뱀과 공포 표정의 얼굴이 위협단서로서 관찰자에게 유발하는 공포 반응을 직접 비교하였다. 지금까지 뱀과 얼굴을 직접 비교한 연구는 거의 없었다. Öhman 등(2012)이 뱀과 얼굴에 대한 시각탐색 자료를 비교한 적이 있지만, 개별적으로 수행된 실험 결과를 나중에 합친 것이어서 뱀에 관한 실험 조작과 얼굴에 관한 실험 조작이 다르다는 점이 한계였다. 그에 비해, 본 연구는 동일한 실험 조건에서 뱀과 얼굴 영상에 대하여 관찰자의 주관적 반응과 객관적 반응을 측정하였다. 실험 1의 참가자들은 영상 자극의 정서가(valence)와 각성 정도(arousal)를 평정하였고, 실험 2의 참가자들은 bCFS 절차에서 영상 자극을 탐지하였다. 위협 탐지의 비교조건으로서 꽃 영상을 추가로 제시하였다. 꽃은 위협적인 내용을 가지고 있지 않고, 따리를 튼 뱀이나 얼굴의 모양처럼 둥근 형태를 가지고 있어서 비교 대상으로 활용되어 왔다(Lobue & DeLoache, 2008; Soares et al., 2014). 여러 범주의 영상 자극을 비교하려면 시각 요인과 의미 요인을 분리할 필요가 있다. 따라서 원본 영상과 별도로, 원본의 색상을 제거하고 범주 간의 밝기와 대비, 공간주파수 에너지를 일치시킨 변환 영상도 제시하였다.

연구 목적을 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 뱀 탐지 과정에서 시각 요인의 역할을 확인하였다. 연구자들은 감각 요인이 배제되어도 위협 단서가 여전히 신속하고 무의식적으로 탐지될 수 있는지 논쟁을 거듭해왔

다(Gayet et al., 2014; Gray et al., 2013; Pessoa et al., 2005). 만약 시각 체계가 단순한 세부특징이나 전체적 윤곽에 의존한다면, 뱀과 꽃의 시각적 차이를 줄였을 때 두 범주에 대한 반응시간의 차이도 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 이와 달리, 만약 뱀 탐지가 정서적, 의미적 요인에 의해 주도된다면, 범주간 시각적 차이가 줄어들어도 여전히 뱀은 꽃보다 빠르게 탐지될 것이다. 둘째, 뱀에 대한 반응과 공포 표정에 대한 반응을 비교하였다. Hedger 등(2016)의 메타분석 결과를 감안하면, 공포 표정은 뱀 탐지의 특성을 이해하는 데 가장 적절한 비교 대상이다. 공포 표정에 대한 반응과 비교함으로써 뱀 탐지의 자동성과 신속성, 그리고 이에 영향을 끼치는 요인들을 구별해낼 수 있을 것이다. 셋째, 주관적 반응과 객관적 반응의 관계를 관찰하였다. 여러 연구들은 위협 단서의 무의식적 탐지를 증명하기 위해 bCFS를 사용해왔다(Gomes et al., 2017, 2018; Jiang et al., 2007; Yang et al., 2007). 그러나 bCFS 절차에서 측정된 탈출 시간에는 무의식적 처리 시간만 아니라 의식적 반응의 역치가 반영될 수 있다. 즉, 위협 단서의 시각 분석이 촉진된 것이 아니라 위협 단서를 봤다고 응답하기가 쉬웠을지도 모른다. 이러한 맥락에서 본 연구는 관찰자의 의식을 반영하는 주관적 정서 평정과 bCFS의 탈출 반응시간의 상관을 분석하였다. 만약 bCFS의 반응시간이 순전히 무의식적 탐지 과정을 반영한다면, 실험 1과 2에서 측정된 시각적 요인의 효과는 유의미한 상관을 보이지 않을 것이다. 반대로, bCFS에서 표적을 탐지하는 데 필요한 시각 정보가 의식적으로 접근할 수 있는 종류의 정보라면, 실험 1과 2에서 측정된 시각적 요인의 효과는 유의미한 상관을 보일 것이다.

2. 실험 1: 평정

시각적 요인이 뱀에 대한 주관적 경험에 미치는 영향을 이해하기 위해 저수준 시각특질(low-level visual properties)의 차이를 최소화한 영상과 원본 영상에 대한 정서 평정 반응을 수집하였다. 뱀, 얼굴, 꽃 범주의 시각적 차이를 완전히 제거하는 것은 (모두 똑같아지므로) 불가능할 뿐만 아니라 필요하지도 않다. 따라서

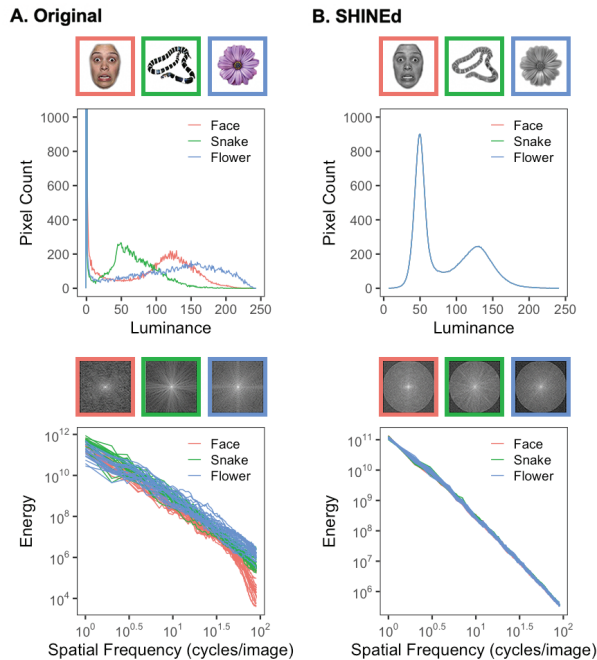


Fig. 1. Controlling low-level visual properties. (A) 'Original' image statistics. The luminance histogram (top) shows the distributions of pixel values of averaged source images. The polar plots and the log-log plot (bottom) show the mean Fourier spectra and their rotational averages of all source images. (B) Image statistics for the transformed images using the SHINE toolbox (thus, called SHINED). For all images, the luminance histograms (top) and the rotational averages of the spectra (bottom) were matched across categories while the energy distribution across orientations was preserved

영상들의 색상을 제거한 후, 밝기와 대비, 공간주파수 에너지 크기를 일치시켰다. 동일한 참가자가 원본 영상과 변환 영상을 모두 접하면 평정 반응이 왜곡될 수 있으므로 참가자간 설계를 채택하였다. 참가자들은 원본 영상 또는 변환 영상이 유발하는 정서가(valence)와 각성(arousal)의 정도를 평정하였다(Russell & Barrett, 1999). 따라서 저수준 시각특질의 차이를 제거했을 때 정서가와 각성 점수의 변화를 계산하여 시각 요인의 효과를 분석하고자 하였다.

2.1. 참가자

학부생과 대학원생 58명이 참여하였다(여 29명, 평균 24.8세). 참가자들은 본 연구와 관련이 없는 다른 실험을 마치고 잠시 휴식을 취한 후 본 실험에 참여하였다. 선행 실험과 본 실험에 소요된 시간은 각각 최대 45분과 15분이었다.

2.2. 영상 재료

뱀, 얼굴, 꽃 사진 각 20개씩, 총 60개의 '원본(original)' 영상이 사용되었다. 뱀 사진은 Lobue와 DeLoache(2008)와 Van Strien, Eijlers, Franken, 그리고 Huijding(2014)에서 사용된 자극이었다. 얼굴 사진은 모두 공포 표정을 담고 있었고 NimStim 얼굴 자극 세트(Tottenham et al., 2009)에서 선별되었다. 꽃 사진은 인터넷에서 찾아 사용하였다.

원본 영상의 시각적 특징은 각자 속한 범주에 따라 뚜렷하게 달랐다. SHINE(spectrum, histogram, and intensity normalization and equalization; Willenbockel et al., 2010) 툴박스를 사용하여 물체가 차지한(즉, 배경을 제외한 전경의) 영역을 분석하고, 그 결과를 Fig. 1A에 제시하였다. 원본 영상의 시각적 차이를 줄이기 위해 모든 영상을 회색 톤(greyscale)으로 변환한 후 히스토그램 매칭과 푸리에 진폭 매칭 절차를 진행하였다. 히스토그램 매칭 절차에서는 개별 영상의 밝기 히스토그램을 전체 영상의 밝기 히스토그램 평균에 일치시킴으로써 영상들의 밝기와 대비 차이를 제거하였다('histMatch' 함수). 푸리에 진폭 매칭 절차에서는 먼저 개별 영상들을 진폭 스펙트럼과 위상 스펙트럼으로 분리하고, 진폭 스펙트럼의 회전 평균(rotational average)을 전체 평균에 일치시켰다. 그다음, 변환된 진폭 스펙트럼과 고유의 위상 스펙트럼을 재결합하여 공간주파수 에너지 차이가 최소화된 영상들을 산출하였다('sfMatch' 함수). 영상 처리로 생성된('SHINED') 영상들의 저수준 시각특질을 Fig. 1B에 제시하였다. 새 영상들을 구성하는 화소들의 밝기 분포와 공간주파수의 회전 평균이 일치하고 있음을 알 수 있다.

2.3. 장치

PsychToolbox-3 함수를 활용하는 Matlab 환경에서 영상 평정을 진행되었다(Brainard, 1997; Pelli, 1997). 영상은 Dell 22인치 LCD 모니터에 제시되었고, 참가자는 키보드에서 평정 반응을 입력하였다.

2.4. 절차와 설계

참가자 28명은 원본(original) 영상을 평정하였고, 나

머지 30명은 저수준 시각특질의 차이를 줄인 변환 (SHINEd) 영상을 평정하였다. 각 참가자에게는 평정 대상인 60개의 영상이 무작위 순서로 한 번씩 제시되었다. 각 시행은 화면 중앙에 응시점이 0.5초 동안 제시되면서 시작되었다. 응시점이 사라진 자리에 영상 하나가 정서가 평정 표시와 함께 출현하면, 참가자는 이 영상에 담긴 정서가 1점(‘부정적’)에서 9점(‘긍정적’)까지의 리커트 척도 상에서 판단한 후, 해당 숫자를 눌러 보고하였다. 반응이 입력되면 정서가 평정 표시가 사라지고, 0.5초 후에 각성 평정 표시가 제시되었다. 참가자는 그 영상을 보고 경험한 각성 수준을 1점(‘약함’)에서 9점(‘강함’)까지의 척도 상에서 판단하고 해당 숫자를 눌러 보고하였다. 1초 후에 새로운 시행이 시작되었다. 본 실험의 설계는 참가자내 요인인 세 수준(얼굴, 뱀, 꽃)의 영상 범주와 참가자간 요인인 두 수준(original, SHINEd)의 시각 특징 통제 여부로 구성되었다. 정서와 각성 평정치가 두 가지 종속변인이었다.

2.5. 통계 분석

R 환경(R Core Team, 2020)에서 선형 혼합효과 모델링(linear mixed-effect modeling, LMM)으로 얼굴, 뱀, 꽃 영상에 대한 정서와 각성 평정 반응을 비교하였다. 전통적인 변량분석(analysis of variance, ANOVA)과 달리, LMM은 조건별 평균이 아닌 모든 개별시행의 반응을 활용하고 참가자와 영상 자극의 무선효과를 단일 모형에서 다루기 때문에 실험조건을 반영하는 고정효과를 더욱 정확히 추정할 수 있다(Baayen et al., 2008). 완전 모형(full model)에는 범주(얼굴, 뱀, 꽃)와 시각 특징 통제(‘original’, ‘SHINEd’), 그리고 그 두 요인의 상호작용이 고정효과로 포함되었다. 무선효과는 개별 참가자(by-participant)의 절편과 범주에 따른 기울기, 그리고 개별 영상(by-image)의 절편과 시각특질 통제에 따른 기울기가 포함되었다. 완전 모형은 afex 패키지(Singmann et al., 2020)의 mixed 함수에 의해 평정 자료에 적합되었다. 이 함수는 lme4 패키지(Bates et al., 2015)의 lmer 함수를 기반으로 모형의 파라미터 값을 추정하였다. 고정효과의 통계적 유의도를 계산하기 위해 Satterthwaite 자유도 근사법으로 완전 모형과 내포 모형(nested model)을 비교하였다. 사후검

증은 emmeans 패키지(Lenth, 2020)의 함수들을 사용했고 Satterthwaite 자유도 근사법과 Bonferroni-Holm 보정을 실시하였다.

2.6. 결과와 논의

정서가 평정 점수를 범주와 시각 특징 통제의 함수로 Fig. 2A에 제시하였다. 얼굴, 뱀, 꽃의 평정 평균(표준편차)은 원본(‘original’) 영상일 때 2.46(.66), 2.19(1.15), 6.97(1.08)이고, 변환(‘SHINEd’) 영상일 때 2.84(.91), 3.65(1.34), 6.03(.98)이었다. 원본 영상에 비해, 변환 영상의 평정치가 중간 수준으로 수렴하는 경향이 보였고, 그 변화는 뱀과 꽃 범주에서 더 뚜렷하였다. 시각 특징의 차이를 줄이면, 뱀 영상은 덜 부정적으로 평정되었고 꽃 영상은 덜 긍정적으로 평정되었다. 상대적으로 얼굴의 평정치는 덜 변했다. LMM으로 고정효과를 추정한 결과, 범주[$F(2, 72.46) = 181.91, p < .001$]와 시각 특징 통제[$F(1, 64.26) = 4.98, p < .05$], 그리고 상호작용[$F(2, 62.479) = 12.33, p < .001$]이 모두 유의미하였다. 사후검증 결과, 얼굴과 뱀에 대한 평정치는 원본 영상일 때는 통계적으로 다르지 않았지만[$t(73.0) = 1.059, p > .2$], 변환 영상일 때는 유의미하게 달랐다[$t(66.0) = 3.413, p = .002$].

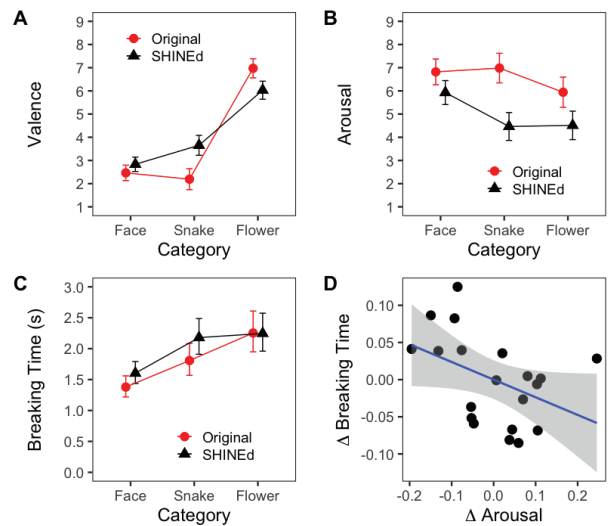


Fig. 2. Results. (A-C) Estimated marginal means of valence ratings, arousal ratings, and breaking times, respectively, as a function of category and image transformation. (D) Correlation between changes in arousal and changes in breaking time after image transformation. Error bars and ribbon represent 95% confidence intervals around the mean

이번에는 각성 평정 점수를 범주와 시각 특징 통제의 함수로 Fig. 2B에 제시하였다. 얼굴, 뱀, 꽃의 평정 평균(표준편차)은 원본('original') 영상일 때 6.82(1.09), 6.98(1.27), 5.94(1.48)이고, 변환('SHINED') 영상일 때 5.93(1.64), 4.47(1.90), 4.51(1.82)이었다. 원본 영상에 비해, 변환 영상의 평정치가 전반적으로 낮아졌는데, 그 변화는 뱀 범주에서 가장 뚜렷했다. LMM으로 고정 효과를 추정된 결과, 범주 [$F(2, 68.80) = 13.36, p < .001$]와 시각 특징 통제 [$F(1, 58.4) = 23.25, p < .001$], 그리고 상호작용 [$F(2, 64.22) = 6.29, p = .003$]이 모두 유의미하였다. 사후검증 결과, 얼굴과 뱀에 대한 평정치는 원본 영상일 때는 통계적으로 다르지 않았지만 [$t(69.1) = 0.454, p = 1$], 변환 영상일 때는 유의미하게 달랐다 [$t(59.4) = 4.374, p = .0003$]. 반대로, 뱀과 꽃에 대한 평정치는 원본 영상일 때는 유의미하게 달랐지만 [$t(74.8) = 3.523, p = .003$], 변환 영상일 때는 다르지 않았다 [$t(60.8) = 0.175, p = 1$].

뱀 영상은 정서가와 각성 평정 모두에서 다른 범주들보다 시각 특징 통제의 영향을 더 받았다. 그런데 정서가와 각성 점수가 동일한 요인을 반영하거나, 참가자가 정서가와 각성을 잘 구별하지 못한 경우에도 위와 같은 양상의 결과를 얻을 것이다. 그러한 가능성을 확인하기 위해, 앞서 추정했던 LMM에서 뱀 영상의 무선 기울기(random slopes)를 추출하였다. 이 값들은 최적 선형 불편향 예측치(best linear unbiased predictions, BLUPs)로서 개별 영상이 원본에서 변환 영상으로 바뀌었을 때 변화하는 평정 점수의 크기를 나타낸다. 그 결과, 정서가의 변화량과 각성의 변화량 간의 상관은 통계적으로 유의미하지 않았다, Pearson's $r = 0.098, p > .6$. 이러한 결과는 정서가와 각성이 서로 독립적인 정서 차원이라는 가정(Russell & Barrett, 1999)에 부합함과 동시에, 저수준 시각 특질이 뱀 영상에 대한 정서 경험에 전반적으로 영향을 끼친다는 것을 의미한다.

3. 실험 2: bCFS 패러다임

시각적 요인이 뱀 탐지 반응에 미치는 영향을 관찰하기 위해 연속점멸억제 탈출(bCFS) 실험을 수행하였다. 실험 1에서와 같이, 참가자간 설계에서 한 집단은

원본 영상을 제시받았고 다른 집단은 저수준 시각 특질의 차이를 최소화한 변환 영상을 제시받았다. 참가자는 연속적으로 점멸하는 차폐자극 속에 등장하는 표적 자극의 위치를 빠르고 정확히 보고한 다음, 표적 자극이 뱀, 얼굴, 꽃 중 어느 범주에 속하는지 보고하였다. 주요 종속변인으로서 표적의 위치를 보고할 때까지 걸린 시간 즉, 연속점멸억제의 탈출 시간(breaking time, BT)을 분석하였다.

3.1. 참가자

정상 시력의 학부생과 대학원생 40명이 참여하였다(여 23명, 평균 25.1세). 참가자 절반은 원본('original') 영상 집단에, 나머지 절반은 변환('SHINED') 영상 집단에 할당되었다. 실험 절차는 기관생명윤리위원회에 의해 사전에 승인되었다. 실험에 총 60분이 소요되었으며, 참가자들은 만원 상당의 문화상품권을 보상으로 받았다.

3.2. 장치

PsychToolbox-3 함수를 활용하는 Matlab 환경에서 실험이 진행되었다(Brainard, 1997; Pelli, 1997). 실험

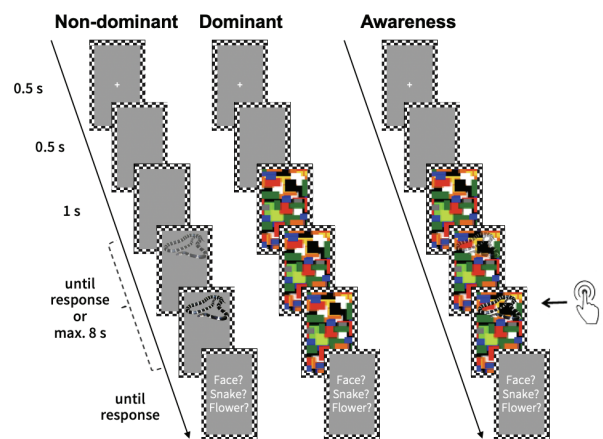


Fig. 3. Schematic of a breaking continuous flash suppression trial. One of 60 target images was presented to the non-dominant eye while multicolor, high contrast dynamic patterns of rectangles was presented to the dominant eye. The target was gradually ramped up in contrast and initially suppressed from awareness. Participants were asked first to indicate with a key press as quickly as possible whether the target appeared above or below fixation and then to indicate to which category the target belonged

자극은 주사율 60Hz인 LCD 모니터(Dell Corp. 22인치)에서 제시되었다. 참가자는 턱-이마 받침대에 머리를 고정하고 거울입체경(mirror stereoscope)을 통해 68cm 떨어진 화면을 관찰하였다. Fig. 3과 같이 화면에는 체크무늬 패턴의 테두리를 가진 직사각형($6.11^\circ \times 11.67^\circ$)이 좌측과 우측에 한 개씩 제시되었다. 거울입체경을 통해 좌측 직사각형 영역은 좌안으로, 우측 직사각형 영역은 우안으로 입력되었다. 참가자는 버튼상자(DirectIN high speed button-box; EmpiriSoft Corp.)로 반응을 입력하였다.

3.3. 절차와 설계

본 실험 전에 Miles 검사(Miles, 1930; Roth et al., 2002)를 통해 참가자의 우세안을 결정하고, 최적의 양안 결합을 유지할 수 있도록 거울입체경을 조정하였다. 참가자들은 연습 시행을 18번 수행하였다. 연습 시행 중 양안 결합이 유지되지 않으면 조정 절차를 처음부터 다시 진행하였다. 본 실험의 한 시행을 Fig. 3에 제시하였다. 각 시행은 응시점($0.3^\circ \times 0.3^\circ$)이 500ms 동안 보였다가 사라지면 시작되었다. 500ms 후에 여러 가지 색과 크기의 사각형으로 구성된 몬드리안 패턴($4.27^\circ \times 9.86^\circ$)이 우세안에 제시되고 15Hz의 속도로 변하기 시작했다. 표적자극($4^\circ \times 4^\circ$)은 1초 후부터 비우세안에 제시되기 시작했다. 표적자극의 대비는 1초에 걸쳐 0%에서 100%로 증가했고, 이후 참가자가 반응할 때까지 유지되었다. 참가자는 몬드리안 패턴 속에서 표적자극을 찾고, 그 위치를 가능한 한 빠르고 정확하게 보고해야 했다. 표적자극은 응시점 위 또는 아래에 제시될 수 있었다. 참가자가 검지(‘위’)나 중지(‘아래’)로 버튼을 눌러 표적자극의 위치를 보고하면, 표적자극의 범주를 묻는 질문(“Face? Snake? Flower?”)이 화면에 등장했다. 참가자는 표적자극의 범주에 해당하는 버튼을 눌러 응답하였다. 참가자가 표적자극의 위치를 입력하지 않는 경우, 표적자극과 몬드리안 패턴은 8초 후 화면에서 사라졌다. 참가자는 표적자극의 위치와 범주를 최대한 정확히 판단하여 반응을 입력해야 했다(즉, 각각 2-와 3-alternative forced choice). 본 실험의 설계는 참가자 내 요인인 세 수준(얼굴, 뱀, 꽃)의 표적자극 범주와 참가자간 요인인 두 수준(original, SHINED)의 시각 특징

통제 여부로 구성되었다. 종속변인은 표적자극 위치 판단의 속도(breaking time; BT)와 정확도, 표적자극 범주 판단의 정확도였다. 본 시행은 총 360(= 표적자극 범주 3 × 표적자극 위치 2 × 반복 60) 시행으로 구성되었고, 시행 순서는 무작위로 결정되었다. 참가자는 120 시행마다 휴식을 취했다. 모든 실험 절차에 한 시간이 소요되었다.

3.4. 통계 분석

실험 1에서와 같이, R 환경(R Core Team, 2020)에서 afex와 emmeans 패키지를 사용하여 선형 혼합효과 모델링과 사후분석을 진행하였다. 완전 모형(full model)에는 표적자극의 범주(얼굴, 뱀, 꽃)와 시각 특징 통제(‘original’, ‘SHINED’), 그리고 그 두 요인의 상호작용이 고정효과로 포함되었다. 무선효과로는 개별 참가자(by-participant)의 절편과 범주에 따른 기울기, 그리고 개별 영상(by-image)의 절편과 시각 특징 통제에 따른 기울기가 포함되었다. 반응시간은 정적으로 치우친(positively skewed) 분포를 보였으므로, 모형의 종속변인으로 반응시간의 로그(log) 값을 활용하였다. 정확도는 이진(binary) 분포를 가지므로, 이항 연결 함수(binomial link function)를 사용하는 일반화된 선형 혼합효과 모델링(generalized mixed-effect modeling, GLMM)으로 분석하였다(Jaeger, 2008). 고정효과의 통계적 유의도를 계산하기 위해 LMM에서는 Satterthwaite 자유도 근사법을 사용하였고, GLMM에서는 우도 비율 검정(likelihood ratio test; LRT)을 통해 완전 모형과 내포 모형(nested model)을 비교하였다. 사후검증에는 Satterthwaite 자유도 근사법과 Bonferroni-Holm 보정을 실시하였다.

3.5. 결과와 논의

위치 판단과 범주 판단의 정확도를 먼저 분석하였다. 위치 판단 정확도의 평균(표준편차)은 원본(‘original’) 영상일 때 얼굴 95.4(3.9)%, 뱀 95.5(5.3)%, 꽃 90.7(8.7)%이고, 변환(‘SHINED’) 영상일 때 얼굴 96.2(5.6)%, 뱀 95.4(7.5)%, 꽃 93.5(9.9)%이었다. 변환 영상에 대한 위치 판단이 원본 영상보다 더 정확했다. GLMM 추정

결과에서도 표적자극 범주의 주효과와 유의미했다, $\chi^2(2) = 7.81, p = .020$. 사후 검정에서는 원본 영상을 사용한 집단이 꽃보다 뱀의 위치를 더 정확히 판단하였다($z = 3.13, p = .01$). 다른 차이들은 통계적으로 유의하지 않았다.

범주 판단 정확도의 평균(표준편차)은 원본('original') 영상일 때 얼굴 94.8(4.0)%, 뱀 92.5(7.6)%, 꽃 87.0(9.9)%이고, 변환('SHINED') 영상일 때 얼굴 93.9(13.7)%, 뱀 90.2(18.8)%, 꽃 87.3(19.6)%이었다. 변환 영상에 대한 범주 판단이 원본 영상보다 더 정확했다. GLMM 추정 결과, 표적자극 범주의 주효과만 유의하였다, $\chi^2(2) = 21.0, p < .0001$. 얼굴에 대한 정확도는 시각 특징 통제와 상관없이 항상 꽃에 비해 정확했다[원본 영상에서 $z = 3.52, p = .0021$, 변환 영상에서 $z = 3.16, p = .0064$]. 뱀에 대한 정확도 역시 시각 특징 통제와 상관없이 항상 꽃에 비해 정확했다[원본 영상에서 $z = 3.57, p = .0021$, 변환 영상에서 $z = 2.56, p = .032$]. 그러나 얼굴과 뱀의 정확도는 시각 특징 통제와 상관없이 유의한 차이를 보이지 않았다, $p's > .5$.

이어서 연속점멸억제 탈출 시간(BT)으로서 참가자가 표적자극의 위치를 정확히 판단하는 데 걸린 시간을 조건별로 비교하였다. 탈출 시간이 200ms보다 빠른 0.02%의 시행들은 제외하고, 나머지 정반응 시행의 조건별 평균 탈출 시간을 Fig. 2C에 제시하였다. 얼굴, 뱀, 꽃 조건의 탈출 시간 평균(표준편차)은 원본('original') 영상일 때 1.53(.42), 2.11(.72), 2.67(.76)초였고, 변환('SHINED') 영상일 때 1.77(.49), 2.49(.68), 2.59(.79)초였다. 얼굴 영상의 탈출 시간이 다른 영상 범주보다 짧았고, 원본 영상과 변환 영상의 탈출 시간 차이는 뱀 영상이 표적인 경우에 두드러졌다. LMM으로 고정효과를 추정한 결과, 범주의 주효과 [$F(2, 72.70) = 64.38, p < .001$]와 범주와 시각 특징 통제의 상호작용 [$F(2, 72.61) = 7.33, p = .001$]이 유의미했다. 시각 특징 통제의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았다 [$F(1, 41.32) = 1.72, p = .20$]. 사후검정 결과, 얼굴에 대한 반응시간은 시각 특징 통제와 상관없이 항상 다른 범주에 비해 빨랐다[얼굴과 뱀, 원본 영상에서 $t(73.5) = 5.18, p < .0001$, 변환 영상에서 $t(74.2) = 8.85, p < .0001$; 얼굴과 꽃, 원본 영상에서 $t(82.1) = 8.85, p < .0001$, 변환 영상에서 $t(71.8) = 8.56, p < .0001$]. 뱀에 대한 반응시간

은 원본 영상인 경우에만 꽃에 비해 빨랐다[원본 영상에서 $t(65.3) = 4.42, p = .0001$; 변환 영상에서 $t(68.9) = 0.97, p > .3$].

마지막으로, 실험 1의 평정 반응과 탈출 시간의 관계를 분석하였다. 만약 뱀 영상의 시각적 특징이 정서적 경험과 탐지 반응에 모두 영향을 끼친다면, 시각 특징 통제로 인한 평정 반응의 변화량과 탈출 시간의 변화량은 통계적으로 유의미한 상관을 보일 것이다. 구체적으로, 시각적 차이가 제거된 후 각성 수준이 크게 감소한 뱀 영상일수록 탈출 시간이 많이 증가할 것으로 예상하였다. 이를 검증하기 위해, 탈출 시간에 관한 LMM에서 시각 특징 통제의 효과를 반영하는 뱀 영상의 무선 기울기 값들을 추출하고, 실험 1에서 획득한 무선 기울기 값들과 상관을 계산하였다. 그 결과, 각성의 변화량과 탈출 시간의 변화량 간의 상관이 통계적으로 유의미하였다, Pearson's $r = -0.43$, one-tailed $p = .029$. Fig. 2D에 제시된 바와 같이, 실험 1에서 각성 점수의 변화량이 컸던 뱀 영상은 실험 2에서 탈출 시간이 길었다. 본 분석은 각성 점수 변화량과 탈출 시간 변화량의 관계에 초점을 두었다. 실험 1에서 정서가보다 각성 점수의 변화가 두드러졌고, 선행 연구들에서도 정서가보다 각성 수준에 관한 평정 점수가 행동 반응의 변화와 연관된 경우가 많았기 때문이다(Keil & Ihssen, 2004; Sheth & Pham, 2008). 한편, 추가분석에서 정서의 변화량과 탈출 시간의 변화량 간의 상관은 통계적으로 유의미하지 않았다, Pearson's $r = -0.18$, one-tailed $p > .22$.

4. 종합 논의

본 연구는 저수준 시각 특질이 뱀 영상에 대한 정서 경험과 탐지 반응에 미치는 영향을 관찰하고, 이를 공포 표정의 얼굴과 꽃 영상에 대한 반응과 비교하였다. 참가자들은 원본 영상을 관찰하거나, 원본 영상에서 시각적 차이를 제거한 변환 영상을 관찰하였다. 실험 1의 참가자들은 각 영상에 대한 정서(valence)와 각성(arousal) 유발 정도를 평정하였고, 실험 2의 참가자들은 점멸하는 차폐자극 속에 등장하는 표적자극의 범주와 위치를 빠르게 보고하였다. 두 실험에서 가장 중요

한 결과는 뱀에 대한 반응이 시각 요인에 가장 민감했다는 점이다. 영상들의 시각적 차이를 제거했을 때, 뱀 영상은 부정적인 내용이 덜하고 각성을 덜 유발한다고 평정되었으며 연속점멸억제 상황에서 더 느리게 탐지되었다. 다른 영상 범주에 대한 반응은 상대적으로 변화 폭이 작았다. 또한, 두 실험에서 추정된 시각 요인의 효과를 비교한 결과, 각성의 변화량과 연속점멸억제 탈출 시간의 변화량이 부적 상관을 보였다. 즉, 영상 변환 후 각성 평정 점수가 많이 감소한 뱀 영상일수록 탐지 반응시간이 증가하였다.

본 연구는 영상 변환 과정에서 색상을 제거하고 밝기와 대비, 그리고 공간 주파수 에너지의 차이를 최소화하였기 때문에 어떤 시각 요인이 뱀에 대한 반응에 영향을 끼쳤는지는 알 수 없다. 평정 반응과 탐지 반응이 동일한 요인의 영향을 받았을 수도 있고, 각기 다른 요인의 영향을 받았을 수도 있다. 선행 연구는 아동을 대상으로 한 시각탐색 과제에서 뱀 표적의 색상이 중요한 단서가 된다고 보고한 바 있다(Hayakawa et al., 2011). 그러나 이론적으로는 색상보다 낮은 공간주파수의 영향이 더 관심을 끈다. 위협 탐지에 관한 전통적 모형들은 낮은 공간주파수의 ‘빠르고 대략적인(quick-and-dirty)’ 특성을 피질하 정보처리의 증거로서 받아들이기 때문이다(Öhman et al., 2007; Phelps & LeDoux, 2005; Tamietto & de Gelder, 2010). Gomes 등(2018)은 이 가정에 부합하는 증거로서 bCFS 실험의 결과를 제시하였다. 이들의 실험에서 뱀 영상은 낮은 공간주파수 정보가 보존된 경우에만 새의 영상보다 빨리 탐지되었다. Gomes 등은 이 결과가 상구-시상침 경로의 뱀 탐지 기능을 증명한다고 주장하였다. 그러나 곧 이들의 연구는 Gayet, Stein과 Peelen(2019)의 비판을 받았다. 뱀 영상의 ‘둘레 대 표면 비율(perimeter-to-surface ratio)’이 새 영상보다 크기 때문이다. 낮은 공간주파수 대역의 영상에서는 둘레 대 표면 비율이 높을수록 검은 부위와 흰 부위의 변화가 잦다. 따라서 흑백 변화가 적은 새의 영상보다 흑백 변화가 잦은 뱀의 영상이 시각적으로 독특하고 쉽게 주의를 끌 수 있다. Gayet 등은 둘레 대 표면 비율이 다른 자전거와 자동차 영상을 사용하여 Gomes 등(2018)의 결과를 재현함으로써 낮은 공간주파수가 뱀 탐지의 결정 요인이 아닐 가능성을 제기하였다. 이에 덧붙여, 사건유관전위 연구들은 뱀 탐

지에서 높은 공간주파수의 역할을 보고해왔다. 가령, 뱀의 비늘과 독특한 피부 패턴이 EPN을 증폭시킬 수 있고(Van Strien & Isbell, 2017), 뱀 영상에서 높은 공간주파수 대역을 제거하면 EPN의 진폭이 감소한다(Beligiannis & Van Strien, 2019). 이러한 결과들을 종합적으로 감안할 때, 뱀 탐지가 특정 대역의 공간주파수나 특정 양태의 정보(예, 색상)에만 의존할 거라 기대하기는 어려워 보인다.

뱀과 달리, 공포 표정의 얼굴은 강한 정서 경험을 유발하고 빨리 탐지되었다. 뱀 탐지 이론을 증명하려는 실험들은 가설과 방법에서 표정 인식에 관한 실험들과 유사한 면이 많다. 그럼에도 불구하고 지금까지 얼굴과 뱀을 비교한 연구는 드문데, 유일한 연구인 Öhman 등(2012)은 경험적 근거와 진화적 근거를 들어 얼굴보다 뱀이 더 강력한 위협 단서라고 주장한 바 있다. 먼저, 이들의 시각탐색 실험에서 화난 표정은 방해자극(중성적인 표정의 얼굴) 수가 작을수록 빨리 탐지되었지만, 뱀 탐색은 방해자극(과일) 수의 영향을 받지 않았다. 저자들은 화난 표정과 달리, 뱀 탐지는 정보처리 용량의 제약을 받지 않는다고 이 결과를 해석하였다. 저자들은 그 이유를 진화의 역사에서 찾았다. 뱀의 위협은 인류가 사회인지 능력을 갖춘 시기보다 훨씬 먼저 등장하였다. 따라서 뱀의 위협을 회피하는 기제가 영장류의 시각 체계에 더 뿌리 깊게 반영되었을 가능성이 있다. 그러나 Öhman 등(2012)의 한계는 얼굴과 뱀에 대한 실험 방법(방해자극 종류, 분석 방법 등)이 뚜렷하게 달랐다는 점이다. 두 범주의 위협을 비교하려면 동일한 실험 설계과 절차에서 관찰자의 반응을 분석해야 한다. 또한, 뱀이 공포 자극의 ‘원형(原型)’(Gomes et al., 2018)으로서 원시 영장류의 진화에 영향을 미쳤다고 해도, 얼굴 표정은 인류가 사회를 구성하기 시작한 이래 개인에게 더 익숙하고 가치있는 자극이라는 점을 무시하기는 어렵다. 이러한 맥락에서 본 연구는 동일한 실험 조건에서 인간 참가자에게는 뱀보다 공포 표정의 얼굴이 더 위협적이고 주목을 끈다는 증거를 처음으로 제시하였다.

뱀 탐지 이론의 주요 가설 중 하나는 의식의 간섭 없이 자동적으로 뱀을 탐지하는 공포 모듈이 존재한다는 것이다(Isbell, 2006). 이러한 모듈은 영장류로 하여금 심적자원을 소모할 필요 없이 빠르게 뱀을 탐지하고 회피할 수 있도록 도왔을 것이다. Öhman과 Mineka

(2001)는 공포 감정과 학습을 일으키는 공포 모듈의 특성 네 가지를 다음과 같이 정의하였다. 첫째, 공포 모듈은 진화적 관점에서 위협이 되는 자극에 선택적으로 반응한다. 둘째, 공포 모듈은 자동적으로 활성화된다. 셋째, 공포 모듈의 활동을 인지적으로 조절하기 어렵다. 넷째, 공포 모듈은 편도체를 중심으로 하는 전용 신경 회로를 가진다. 이 가운데에서 ‘자동성’과 ‘인지적 불침투성(cognitive impenetrability)’은 사람을 대상으로 하는 실험에서 증명될 수 있는 특성이다. 그러나 지금까지 뱀에 대한 시각적 편향이 반복적으로 확인되었음에도 불구하고, 이 두 특성에 대한 증거는 많지 않다. 선행 연구 중에서 뱀 탐지와 의식의 관계를 검증한 연구는 Gomes와 동료들의 연구 두 건 뿐이었다(Gomes et al., 2017, 2018). 이들은 bCFS 실험에서 뱀 영상이 다른 범주의 영상보다 빨리 탐지되었다고 보고하면서, 뱀의 위협이 무의식적인 피질하 경로에서 우선적으로 처리되기 때문이라고 이 결과를 해석하였다. 그러나 bCFS 결과로 뱀 탐지의 자동성을 증명하는 데는 논란의 여지가 있다. CFS 탈출 시간에는 무의식적 처리 시간만이 아니라 의식적 반응의 역치가 반영될 수 있다. 즉, 뱀 영상의 시각 분석이 촉진된 것이 아니라 뱀이 봤다고 응답하는 것이 쉬웠을지도 모른다. 또한, 낮은 공간주파수 대역에서 쉽게 발견된다는 사실 자체는 뱀이 시각적으로 다른 대상과 다르다는 것을 뜻할 뿐, 뱀이 특별한 위협이라는 것을 보장하지는 않는다(Gayet et al., 2019).

최근에는 위협 탐지가 무의식적 과정이라는 전통적인 가정이 재검토되고 있다. 여러 연구들은 공포 반응에서 의식의 필요성을 강조하였다. 예를 들어, 뱀은 참가자가 영상을 인식할 수 있는 조건에서만 다른 동물에 비해 EPN 진폭을 증가시킨다(Grassini et al., 2016). 마찬가지로, bCFS 절차에서 제시된 위협적인 내용의 영상도 참가자가 그것을 의식할 수 있는 경우에만 자율신경반응(예; 피부전도반응)과 주의 정향(attentional orienting)을 일으킬 수 있었다(Hedger et al., 2015). 이러한 결과들은 피질하 경로보다 대뇌피질이 위협 탐지를 주도한다는 입장에 부합한다(Pessoa & Adolphs, 2010). 연구자들은 복잡한 시각 장면으로부터 위협적인 물체를 분리하고, 정체를 파악하여, 정서적 가치를 평가하는 일련의 과정이 ‘신속하지만 상세하지 않은’

피질하 경로의 정보처리에 의존할 거라 기대하기는 어렵다고 주장한다(Gray et al., 2013). 일차시각피질은 이전에 알려진 것보다 일찍 시각 자극에 반응할 수 있고 (≤ 40 ms; Lamme & Roelfsema, 2000) 상당한 양의 원시성 정보를 편도체에 전달한다(Amaral et al., 1992). 따라서 위협은 일차시각피질을 경유하는 신피질에서도 충분히 빠르게 탐지될 수 있다. 이럴 경우, 편도체는 위협을 직접 탐지하기보다 일차시각피질에서 입력받은 신호를 근거로 신피질의 활동을 증가시키는 역할을 담당할 것이다(Pessoa & Adolphs, 2010).

마찬가지로, 위협이 피질하 경로에서 낮은 공간주파수 정보를 근거로 탐지된다는 가정도 도전받고 있다. 지금까지 반증 사례는 주로 얼굴 표정 연구에서 나왔다. 공포 표정의 얼굴이 CFS 실험에서 무표정한 얼굴보다 빨리 탐지된다는 사실은 잘 알려져 있다(Yang et al., 2007). 그런데, 이러한 ‘공포 어드밴티지’ 효과는 얼굴이, 낮은 공간주파수가 아니라, 높은 공간주파수 대역에서 제시되었을 때에만 나타난다(Stein et al., 2014). 게다가, 양반구 편도체가 손상된 환자도 시각탐색과 bCFS 실험에서 정상인 수준의 공포 어드밴티지 효과를 보였다(Tsuchiya et al., 2009). 이러한 연구 결과들을 감안할 때, 뱀 탐지 이론이 가정하는 무의식적 뱀 탐지 모듈을 증명하려면 지금까지보다 훨씬 많은 증거들이 필요할 것이다.

본 연구는 시각 요인이 뱀 영상의 각성 평정과 bCFS 탐지 반응에 미치는 영향이 부적으로 상관된다는 결과를 보고하였다. 이 결과는 Keil과 Ihssen(2004)이 보고한 결과와 비교할만 하다. 이들의 실험에서 단어 표적의 정서가는 각성 수준이 높게 평정된 경우에만 탐지 반응에 영향을 끼칠 수 있었다. 각성 수준이 낮은 경우에는, 부정적/긍정적 의미 단어와 중성적 의미의 단어가 탐지 반응에서 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서도 각성 평정과 달리, 정서가 평정의 변화량은 탐지 반응의 변화량과 상관을 보이지 않았다. 정서가는 의미를 반영하고 각성은 강도(intensity)를 반영한다고 보면, bCFS는 표적의 정서적 의미보다 그 강도에 민감하다고 추정할 수 있다. 더 나아가, 이러한 결과는 bCFS에 관여하는 시각 표상에 의식적인 접근이 가능하다는 것을 뜻한다. 만약 bCFS의 반응시간이 순전히 무의식적인 탐지 과정을 반영한다면, 주관적인 측정치인 평정

반응과 상관할 거라 기대하기 어렵다. 대안적으로는, 무의식 처리에 의해 고양된 유창성(fluency)이 평정 반응에 영향을 끼쳤을 수도 있다(Alter & Oppenheimer, 2009). 그러나 본 연구에서 평정 실험과 bCFS 실험의 참가자가 달랐으므로 유창성이 원인일 가능성은 높지 않다. 또한, 유창성에 근거한 대안은 왜 각성 평정과 달리 정서가 평정은 상관을 보이지 않았는지도 설명해야 할 것이다.

종합적으로 본 연구는 뱀 탐지 이론의 주요 가정들을 지지할만한 증거를 발견하지 못했다. 먼저, 뱀 영상에 대한 주관적 반응(평정)과 객관적 반응(탐지시간)이 모두 시각 요인의 영향을 크게 받았으며, 그 정도가 공포 표정의 얼굴과 꽃 영상보다 더 컸다. 뱀 탐지가 시각 요인에 민감하다는 사실 자체는 뱀 탐지 이론의 가정과 어긋나지 않는다. 먼저세포 중심의 피질하 경로에서 고차원적이고 추상적인 시각 처리가 가능할 거라 기대하기는 어렵기 때문이다. 그러나 뱀 탐지 모듈이 생태적인 타당성을 확보하려면 변화무쌍한 환경에서도 뱀의 단서를 안정적으로 추출할 수 있어야 할 것이다. 또한, 본 연구는 정서적 경험에 관한 평정 반응과 bCFS 절차에서 관찰한 탐지 반응의 관련성을 밝힘으로써 뱀이 무의식적 정보처리의 우선권을 가진다는 가설에도 의문을 제기하였다. 마지막으로, 공포 표정의 얼굴이 뱀 영상보다 더 위협적인 정보라는 결과를 보고하였다. 이러한 결과들은 뱀 탐지 이론이 사람의 위협 탐지 행동을 설명하는 데 부족할 수 있음을 시사한다. 영장류 시각 체계의 진화가 뱀의 위협에 의해 시작되었다고 해도, 현대 인류의 위협 탐지 기제는 더 이상 뱀에게 특별한 지위를 부여하지는 않는 것으로 보인다.

REFERENCES

- Alter, A. L., & Oppenheimer, D. M. (2009). Uniting the tribes of fluency to form a metacognitive nation. *Personality and Social Psychology Review, 13*(3), 219-235. DOI: 10.1177/1088868309341564
- Amaral, D. G., Price, J. L., Pitkanen, A., & Carmichael, S. T. (1992). Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. In J. P. Aggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction* (pp. 1-66). New York: Wiley-Liss.
DOI: 10.1016/0166-2236(92)90106-i
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language, 59*(4), 390-412.
DOI: 10.1016/j.jml.2007.12.005
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software, 67*(1), 1-48.
DOI: 10.18637/jss.v067.i01
- Beligiannis, N., & Van Strien, J. W. (2019). Blurring attenuates the early posterior negativity in response to snake stimuli. *International Journal of Psychophysiology, 146*, 201-207. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2019.09.002
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision, 10*(4), 433-436.
DOI: 10.1163/156856897x00357
- Brewer, G. (2001, March 19). Snakes Top List of Americans' Fears. *Gallup*. <https://news.gallup.com/poll/1891/snakes-top-list-americans-fears.aspx>
- Cook, M., & Mineka, S. (1990). Selective associations in the observational conditioning of fear in rhesus monkeys. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 16*(4), 372-389.
DOI: 10.1037/0097-7403.16.4.372
- Davey, G. C. L. (1994). Self-reported fears to common indigenous animals in an adult UK population: The role of disgust sensitivity. *British Journal of Psychology, 85*(4), 541-554.
DOI: 10.1111/j.2044-8295.1994.tb02540.x
- Eimer, M. (2000). Effects of face inversion on the structural encoding and recognition of faces: Evidence from event-related brain potentials. *Brain Research: Cognitive Brain Research, 10*(1-2), 145-158. DOI: 10.1016/s0926-6410(00)00038-0
- Fredrikson, M., Annas, P., & Wik, G. (1997). Parental history, aversive exposure and the development of snake and spider phobia in women. *Behaviour Research and Therapy, 35*(1), 23-28.
DOI: 10.1016/s0005-7967(96)00076-9
- Gayet, S., Stein, T., & Peelen, M. V. (2019). The danger

- of interpreting detection differences between image categories: A brief comment on “Mind the snake: Fear detection relies on low spatial frequencies” (Gomes, Soares, Silva, & Silva, 2018). *Emotion*, 19(5), 928-932. DOI: 10.1037/emo0000550
- Gayet, S., Van der Stigchel, S., & Paffen, C. L. E. (2014). Breaking continuous flash suppression: Competing for consciousness on the pre-semantic battlefield. *Frontiers in Psychology*, 5, 460. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00460
- Gomes, N., Silva, S., Silva, C. F., & Soares, S. C. (2017). Beware the serpent: The advantage of ecologically-relevant stimuli in accessing visual awareness. *Evolution and Human Behavior*, 38(2), 227-234. DOI: 10.1016/j.evolhumbehav.2016.10.004
- Gomes, N., Soares, S. C., Silva, S., & Silva, C. F. (2018). Mind the snake: Fear detection relies on low spatial frequencies. *Emotion*, 18(6), 886-895. DOI: 10.1037/emo0000391
- Goren, C. C., Sarty, M., & Wu, P. Y. (1975). Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. *Pediatrics*, 56(4), 544-549.
- Grassini, S., Holm, S. K., Railo, H., & Koivisto, M. (2016). Who is afraid of the invisible snake? Subjective visual awareness modulates posterior brain activity for evolutionarily threatening stimuli. *Biological Psychology*, 121(Pt A), 53-61. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2016.10.007
- Gray, K. L. H., Adams, W. J., Hedger, N., Newton, K. E., & Garner, M. (2013). Faces and awareness: Low-level, not emotional factors determine perceptual dominance. *Emotion*, 13(3), 537-544. DOI: 10.1037/a0031403
- Hayakawa, S., Kawai, N., & Masataka, N. (2011). The influence of color on snake detection in visual search in human children. *Scientific Reports*, 1, 80. DOI: 10.1038/srep00080
- Hedger, N., Adams, W. J., & Garner, M. (2015). Autonomic arousal and attentional orienting to visual threat are predicted by awareness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(3), 798-806. DOI: 10.1037/xhp0000051
- Hedger, N., Gray, K. L. H., Garner, M., & Adams, W. J. (2016). Are visual threats prioritized without awareness? A critical review and meta-analysis involving 3 behavioral paradigms and 2696 observers. *Psychological Bulletin*, 142(9), 934-968. DOI: 10.1037/bul0000054
- He, H., Kubo, K., & Kawai, N. (2014). Spiders do not evoke greater early posterior negativity in the event-related potential as snakes. *NeuroReport*, 25(13), 1049-1053. DOI: 10.1097/wnr.0000000000000227
- Hendry, S. H., & Reid, R. C. (2000). The koniocellular pathway in primate vision. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 127-153. DOI: 10.1146/annurev.neuro.23.1.127
- Hendry, S. H., & Yoshioka, T. (1994). A neurochemically distinct third channel in the macaque dorsal lateral geniculate nucleus. *Science*, 264(5158), 575-577. DOI: 10.1126/science.8160015
- Isbell, L. A. (2006). Snakes as agents of evolutionary change in primate brains. *Journal of Human Evolution*, 51(1), 1-35. DOI: 10.1016/j.jhevol.2005.12.012
- Jaeger, T. F. (2008). Categorical data analysis: Away from ANOVAs (transformation or not) and towards logit mixed models. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 434-446. DOI: 10.1016/j.jml.2007.11.007
- Jiang, Y., Costello, P., & He, S. (2007). Processing of invisible stimuli: Advantage of upright faces and recognizable words in overcoming interocular suppression. *Psychological Science*, 18(4), 349-355. DOI: 10.1111/j.1467-9280.2007.01902.x
- Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., & Morton, J. (1991). Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, 40(1-2), 1-19. DOI: 10.1016/0010-0277(91)90045-6
- Ju, E. J. (2014). Pre-service elementary teacher's specific animal phobia and its relationship to biology teaching self-efficacy. *Biology Education*, 42(3), 237-248. DOI: 10.15717/bioedu.2014.42.3.237
- Keil, A., & Ihssen, N. (2004). Identification facilitation for emotionally arousing verbs during the attentional blink. *Emotion*, 4(1), 23-35.

- DOI: 10.1037/1528-3542.4.1.23
- Kim, S.-Y., Jung, J.-B., & Nam, K.-C. N. (2020). Research on the association between emotional perception bias and deteriorated visuospatial attention allocation ability in increasing the level of social phobia. *Science of Emotion & Sensibility*, 23(2), 35-50. DOI: 10.14695/KJSOS.2020.23.2.35
- Lamme, V. A., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, 23(11), 571-579.
DOI: 10.1016/s0166-2236(00)01657-x
- Langton, S. R. H., Law, A. S., Burton, A. M., & Schweinberger, S. R. (2008). Attention capture by faces. *Cognition*, 107(1), 330-342.
DOI: 10.1016/j.cognition.2007.07.012
- Lenth, R. (2020). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means.
<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- LoBue, V., Buss, K. A., Taber-Thomas, B. C., & Pérez-Edgar, K. (2017). Developmental differences in infants' attention to social and nonsocial threats. *Infancy*, 22(3), 403-415. DOI: 10.1111/infa.12167
- Lobue, V., & DeLoache, J. S. (2008). Detecting the snake in the grass: Attention to fear-relevant stimuli by adults and young children. *Psychological Science*, 19(3), 284-289.
DOI: 10.1111/j.1467-9280.2008.02081.x
- Maior, R. S., Hori, E., Tomaz, C., Ono, T., & Nishijo, H. (2010). The monkey pulvinar neurons differentially respond to emotional expressions of human faces. *Behavioural Brain Research*, 215(1), 129-135.
DOI: 10.1016/j.bbr.2010.07.009
- Miles, W. R. (1930). Ocular dominance in human adults. *The Journal of General Psychology*, 3(3), 412-430.
DOI: 10.1080/00221309.1930.9918218
- Mineka, S., Keir, R., & Price, V. (1980). Fear of snakes in wild- and laboratory-reared rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Animal Learning & Behavior*, 8(4), 653-663. DOI: 10.3758/BF03197783
- Moore, P. (2014, March 28). Snakes, heights and public speaking are the top three fears in the Home of the Brave. *YouGov*. <https://today.yougov.com/topics/lifestyle/articles-reports/2014/03/27/argh-snakes>
- Morris, J. S., Ohman, A., & Dolan, R. J. (1998). Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, 393(6684), 467-470.
DOI: 10.1038/30976
- Nguyen, M. N., Matsumoto, J., Hori, E., Maior, R. S., Tomaz, C., Tran, A. H., Ono, T., & Nishijo, H. (2014). Neuronal responses to face-like and facial stimuli in the monkey superior colliculus. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 85.
DOI: 10.3389/fnbeh.2014.00085
- Öhman, A., Carlsson, K., Lundqvist, D., & Ingvar, M. (2007). On the unconscious subcortical origin of human fear. *Physiology & Behavior*, 92(1-2), 180-185. DOI: 10.1016/j.physbeh.2007.05.057
- Öhman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(3), 466-478. DOI: 10.1037/0096-3445.130.3.466
- Öhman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness: Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, 108(3), 483-522. DOI: 10.1037/0033-295x.108.3.483
- Öhman, A., & Mineka, S. (2003). The malicious serpent: Snakes as a prototypical stimulus for an evolved module of fear. *Current Directions in Psychological Science*, 12(1), 5-9. DOI: 10.1111/1467-8721.01211
- Öhman, A., Soares, S. C., Juth, P., Lindström, B., & Esteves, F. (2012). Evolutionary derived modulations of attention to two common fear stimuli: Serpents and hostile humans. *Journal of Cognitive Psychology*, 24(1), 17-32. DOI: 10.1080/20445911.2011.629603
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437-442.
DOI: 10.1163/156856897x00366
- Pessoa, L., & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: From a "low road" to "many roads" of evaluating biological significance. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(11), 773-782.
DOI: 10.1038/nrn2920
- Pessoa, L., Japee, S., & Ungerleider, L. G. (2005). Visual awareness and the detection of fearful faces.

- Emotion*, 5(2), 243-247.
DOI: 10.1037/1528-3542.5.2.243
- Phelps, E. A., & LeDoux, J. E. (2005). Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior. *Neuron*, 48(2), 175-187.
DOI: 10.1016/j.neuron.2005.09.025
- Polák, J., Rádlová, S., Janovcová, M., Flegr, J., Landová, E., & Frynta, D. (2020). Scary and nasty beasts: Self-reported fear and disgust of common phobic animals. *British Journal of Psychology*, 111(2), 297-321. DOI: 10.1111/bjop.12409
- Rakison, D. H. (2018). Do 5-month-old infants possess an evolved detection mechanism for snakes, sharks, and rodents? *Journal of Cognition and Development*, 19(4), 456-476.
DOI: 10.1080/15248372.2018.1488717
- R Core Team. (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Roth, H. L., Lora, A. N., & Heilman, K. M. (2002). Effects of monocular viewing and eye dominance on spatial attention. *Brain*, 125(Pt 9), 2023-2035.
DOI: 10.1093/brain/awf210
- Russell, J. A., & Barrett, L. F. (1999). Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5), 805-819.
DOI: 10.1037/0022-3514.76.5.805
- Schupp, H. T., Flaisch, T., Stockburger, J., & Junghöfer, M. (2006). Emotion and attention: Event-related brain potential studies. *Progress in Brain Research*, 156, 31-51. DOI: 10.1016/s0079-6123(06)56002-9
- Sheth, B. R., & Pham, T. (2008). How emotional arousal and valence influence access to awareness. *Vision Research*, 48(23-24), 2415-2424.
DOI: 10.1016/j.visres.2008.07.013
- Singmann, H., Bolker, B., Westfall, J., Aust, F., & Ben-Shachar, M. S. (2020). afex: Analysis of Factorial Experiments.
<https://CRAN.R-project.org/package=afex>
- Soares, S. C., Lindström, B., Esteves, F., & Öhman, A. (2014). The hidden snake in the grass: Superior detection of snakes in challenging attentional conditions. *PloS One*, 9(12), e114724.
DOI: 10.1371/journal.pone.0114724
- Sohn, I.-J., Yoon, H.-J., Shin, Y.-B., & Kim, J.-J. (2014). Behavioral characteristics of face recognition for self and others in patients with social phobia. *Anxiety and Mood*, 10(1), 37-43.
- Stein, T., Seymour, K., Hebart, M. N., & Sterzer, P. (2014). Rapid fear detection relies on high spatial frequencies. *Psychological Science*, 25(2), 566-574.
DOI: 10.1177/0956797613512509
- Tamietto, M., & de Gelder, B. (2010). Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(10), 697-709.
DOI: 10.1038/nrn2889
- Theeuwes, J., & Van der Stigchel, S. (2006). Faces capture attention: Evidence from inhibition of return. *Visual Cognition*, 13(6), 657-665.
DOI: 10.1080/13506280500410949
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., Marcus, D. J., Westerlund, A., Casey, B. J., & Nelson, C. (2009). The NimStim set of facial expressions: Judgments from untrained research participants. *Psychiatry Research*, 168(3), 242-249.
DOI: 10.1016/j.psychres.2008.05.006
- Troiani, V., & Schultz, R. T. (2013). Amygdala, pulvinar, and inferior parietal cortex contribute to early processing of faces without awareness. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 241.
DOI: 10.3389/fnhum.2013.00241
- Tsuchiya, N., & Koch, C. (2005). Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nature Neuroscience*, 8(8), 1096-1101. DOI: 10.1038/nn1500
- Tsuchiya, N., Moradi, F., Felsen, C., Yamazaki, M., & Adolphs, R. (2009). Intact rapid detection of fearful faces in the absence of the amygdala. *Nature Neuroscience*, 12(10), 1224-1225.
DOI: 10.1038/nn.2380
- Van Le, Q., Isbell, L. A., Matsumoto, J., Nguyen, M., Hori, E., Maior, R. S., Tomaz, C., Tran, A. H., Ono, T., & Nishijo, H. (2013). Pulvinar neurons reveal neurobiological evidence of past selection for rapid detection of snakes. *Proceedings of the National*

- Academy of Sciences of the United States of America*, 110(47), 19000-19005.
DOI: 10.1073/pnas.1312648110
- Van Strien, J. W., Eijlers, R., Franken, I. H. A., & Huijding, J. (2014). Snake pictures draw more early attention than spider pictures in non-phobic women: Evidence from event-related brain potentials. *Biological Psychology*, 96, 150-157.
DOI: 10.1016/j.biopsycho.2013.12.014
- Van Strien, J. W., Franken, I. H. A., & Huijding, J. (2014). Testing the snake-detection hypothesis: Larger early posterior negativity in humans to pictures of snakes than to pictures of other reptiles, spiders and slugs. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 691. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00691
- Van Strien, J. W., & Isbell, L. A. (2017). Snake scales, partial exposure, and the Snake Detection Theory: A human event-related potentials study. *Scientific Reports*, 7, 46331. DOI: 10.1038/srep46331
- Vlamings, P. H. J. M., Goffaux, V., & Kemner, C. (2009). Is the early modulation of brain activity by fearful facial expressions primarily mediated by coarse low spatial frequency information? *Journal of Vision*, 9(5), 12.1-13. DOI: 10.1167/9.5.12
- Whalen, P. J., Rauch, S. L., Etkoff, N. L., McInerney, S. C., Lee, M. B., & Jenike, M. A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *The Journal of Neuroscience*, 18(1), 411-418. DOI: 10.1523/jneurosci.18-01-00411.1998
- Willenbockel, V., Sadr, J., Fiset, D., Horne, G. O., Gosselin, F., & Tanaka, J. W. (2010). Controlling low-level image properties: the SHINE toolbox. *Behavior Research Methods*, 42(3), 671-684.
DOI: 10.3758/BRM.42.3.671
- Winston, J. S., Vuilleumier, P., & Dolan, R. J. (2003). Effects of low-spatial frequency components of fearful faces on fusiform cortex activity. *Current Biology*, 13(20), 1824-1829.
DOI: 10.1016/j.cub.2003.09.038
- Yang, E., Zald, D. H., & Blake, R. (2007). Fearful expressions gain preferential access to awareness during continuous flash suppression. *Emotion*, 7(4), 882-886. DOI: 10.1037/1528-3542.7.4.882

원고접수: 2020.07.25

수정접수: 2020.09.03

게재확정: 2020.09.06