

Developmental Changes of Top-down Attentional Modulation in Saliency Model*

Jongsoo Baek¹, Mee-Kyoung Kwon^{2*}

¹Institute of Convergence Technology, Yonsei University

²The University of Utah Asia Campus

To investigate developmental changes of top-down attentional modulation in visual saliency, the current study examined infants' eye-movements with three models: (1) the equal weight model in which all weights of low-level features are assumed to be equal, (2) the unequal weight model in which feature weights were assumed to be unequal, and (3) the unequal weight model with face weight in which an additional weight was assumed for face stimuli, as well as unequal weights between low-level features. These models were fitted to 4-, 6-, and 8-month-old infants' first fixation data to estimate a set of feature weights which can best explain the data. The results showed the unequal weight model and the unequal weight model with face weight predicted infants' eye-movements more accurately than the equal weight model. Also, 6- and 8-month-old infants' eye-movements were significantly better explained by the unequal weight model with face weight than by the unequal weight model. These results suggest that low-level features contribute to the visual system with different weights and that face stimuli attract more attention as infants grow up. Our findings also highlight the importance of adjusting feature weights in studies of visual and attentional development.

Keywords: bottom-up attention, top-down attention, saliency, saliency toolbox, infants, development, face

1 차원고접수 19.05.10; 수정본접수: 19.07.18; 최종게재결정 19.08.08

인간의 눈움직임 및 시각적 주의에 영향을 미치는 요인을 밝히는 것은 인지 심리학의 매우 중요한 연구 문제 중 하나이다. 지난 수십 년 동안의 연구들을 통해, 자극의 물리적 속성에 의한 상향적 주의 기제(bottom-up attention)와 과제, 맥락, 경험 등을 통한 하향적 주의 기제(top-down attention)에 기반해 공간적 주의를 할당되는 것으로 알려져 있다 (Niebur & Koch, 1998; Knudsen, 2007; Theeuwes, 2010). 공간적 주의의 할당을 설명하기 위해 다양한 모형들이 제안되었는데, 이 모형들은 시각 자극의 세부 특징과 현저성을 기반으로 주의 이동을 설명하고 있다. 그 중 세부

특징 통합 모형(feature integration theory; Treisman & Gelade, 1980)에서는 대상의 기초적인 세부 특징들(features)이 공간적 주위에 의해 하나의 대상으로 통합되는 것으로 모형화된다. 이후 제안된 유도 탐색 모형(guided search model; Wolfe 1994)에서는, 목표 자극과 방해 자극들이 잘 구분되는 세부 특징 차원이 더 강조되도록, 목표 자극에 대한 하향적 정보를 통합하는 것으로 주의 체계를 모형화했다. 세부 특징 관문 모형(FeatureGate model; 김민식, 1999; Cave, Kim, Bichot, & Sobel, 2005)은 이를 더 정교화된 형태로 구현한 신경망 계산 모형으로, 상향적 현저성(saliency)

* 본 연구는 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2017R1D1A1B03036082).

† 교신저자: 권미경, 유태대학교 아시아 캠퍼스 심리학과, 인천 연수구 송도 문화로 119

E-mail: m.kwon@utah.edu

정보와 하향적 목표 자극 정보를 통합해 하나의 통합된 활성화 지도(combined activation map)를 생성하고, 이를 기반으로 시각적 주의가 이동하는 것으로 주의 체계가 모형화된다.

또 다른 계산 모형인 현저성 모형(saliency model; Itti, 2005; Itti, Koch, & Niebur, 1998)은 상향적 정보 처리 과정에 대한 정신물리학 실험 결과들과 신경학적 발견들을 반영해 주의 이동을 설명한 모형이다. 현저성 모형에서 시각적 자극은 색상, 밝기, 방위의 세 가지 세부 특징으로 분해되어 표상되는데, 각 세부 특징은 8개의 축적(spatial scale)에서 각 공간과 주변 공간과의 대비를 나타내는 특징 지도(feature map)로 표현된다. 이는 시각 피질 뉴런의 중심-주변(center-surround) 계산과 다양한 수용장 크기를 반영한다. 이 후, 정규화 과정(normalization)을 거친 개별 특징 지도들은 합쳐져 하나의 현저성 지도(saliency map)를 생성하게 된다. 주의 체계는 이 현저성 지도상에서 가장 현저한 자극에 먼저 주의를 기울이고(Winner-takes-all mechanism), 그 자극을 확인한 후에는 회귀 억제 기제(inhibition of return)에 따라 그 다음으로 현저한 자극 순서로 주의를 할당하게 된다. 하지만, 각 세부 특징은 서로 다른 가중치로 현저성에 기여할 수 있으며(Nothdurft, 2000; Wolfe, 1994), 얼굴과 같은 특정 자극 혹은 자극 범주는 주의를 유도할 수 있다(Walther, 2006). 세부 특징 간 서로 다른 가중치와 특정 자극 범주에 대한 주의를 하향적 주의 조절 기제로 이해되는데(Itti et al., 1998; Walther, 2006), 현저성 모형에서는 하향적 주의 조절 기제가 모형화되지 못했다는 한계점을 지닌다.

인간의 주의 이동에 관한 계산 모형들은 주로 정상 성인의 눈움직임 혹은 실험 결과를 기반으로 개발되고 검증되었지만, 최근 들어 이러한 모형을 영아와 같은 다양한 집단에 적용해 시각과 주의 이동의 발달적 속성을 파악하는 연구들이 발표되고 있다. 예를 들어, 일련의 연구들에서 상향적 현저성이 영아의 시각적 주의 혹은 시선 이동에 미치는 영향은 성인과는 동일하지 않을 뿐만 아니라(Amsö, Haas, & Markant, 2014), 영아들 사이에서도 개월 수에 따라 급격한 차이가 발견되었다(Kwon, Setoodehnia, Baek, Luck, & Oakes, 2016). 특히, 영아의 시각적 주의를 4개월과 6개월 사이에 급격한 변화가 일어나는데(Johnson, 2010), 상향적 현저성은 주의 조절 능력이 완전히 발달하지 못한 4개월 혹은 그 이전의 영아에게 더 많은 영향을 주는 것으로 나타났다(Kwon et al., 2016). 이상의 연구 결과는 영아의 주의 이동 발달을 더 잘 이해하기 위해서는 상향적 현저성과 하향적 주의 조절 기제의 발달적 차이를 함께 고려해야 함을 시사한다. 그러나 기존의 발달적 차이를 검증한 연구들은 현저성

모형의 세부 특징 간의 가중치가 양적으로 어떻게 변화하는지, 그리고 얼굴과 같은 의미있는 자극으로의 주의 조절 기제의 발달 변화와 상향적 현저성 기제 등을 종합적으로 밀도 있게 검증하지 않았다.

그러므로 본 연구에서는 다음과 같은 연구 문제를 살펴보았다.

연구 문제 1. 여러 세부 특징상의 현저성은 인간의 주의 이동에 동일한 정도로 기여하는가? 다시 말해, 세부 특징들 간의 상대적 가중치가 동일하지 않다고 가정하는 모형은 동일하다고 가정하는 모형에 비해 인간의 주의 이동을 더 잘 설명하는가?

연구 문제 2. 영아의 개월 수에 따라 각 세부 특징의 시각적 주의에 대한 기여도는 어떻게 변화하는가?

연구 문제 3. 얼굴과 같은 특정 자극 혹은 자극 범주는 물리적 자극 속성에 의한 상향적 주의 뿐 아니라 자극 범주에 대한 하향적 주의를 유도하는가? 다시 말해, 얼굴 자극에 대해 임의의 가중치가 주어지면 가중치가 주어지지 않았을 때보다, 인간의 주의 이동을 더 잘 설명하는가?

연구 문제 4. 만약에 그렇다면, 얼굴에 대한 주의 할당은 영아의 개월 수에 따라 어떻게 변화하는가?

본 연구에서는 이와 같은 연구 문제들에 대해 알아보기 위해, 상향적 현저성을 계산하는 현저성 툴박스(Saliency Toolbox; Walther & Koch, 2006)와 기존 연구를 통해 얻어진 데이터셋(Kwon et al., 2016)을 이용해 세부 특징들 간의 가중치와 얼굴 자극 범주에 대한 가중치를 추정하고, 이를 통해 하향적 주의 기제의 효과와 그 발달적 변화를 살펴보았다.

연구 모형

본 연구에서는 상향적 현저성만을 고려한 주의 모형과 하향적 주의 조절 기제를 동시에 고려하는 모형들을 비교해 보았다. 상향적 현저성은 색상, 밝기, 방위의 세 가지 세부 특징 차원에 대해 각 위치와 주변 위치와의 대비를 의미하며, 하향적 주의 조절 기제는 각 세부 특징 차원이 통합될 때의 상대적인 가중치와 얼굴 범주 자극에 대한 가중치를 포함한다. 특히, 본 연구에서는 이 모형들을 통해 4, 6, 8개월 영아들의 주의 이동과 눈움직임을 설명하는 것에 초점을 맞추었다.

하향적 주의 조절 기제를 포함하는 주의 모형을 구현하기 위해, 세부 특징들 간의 가중치와 자극 범주간 가중치를 균등하게 가정하는 대신, 모형 적합(model fitting)을 통해 대

이터를 가장 잘 설명하는 가중치 값들을 추정했다. 본 연구에 사용된 현저성 계산 모형은 다음과 같다.

$$S_{face} = w_f(w_c \times f_c + w_i \times f_i + w_o \times f_o)$$

$$S_{non-face} = w_c \times f_c + w_i \times f_i + w_o \times f_o$$

여기서 S_{face} 와 $S_{non-face}$ 는 얼굴 자극과 비얼굴자극에 대한 현저성, f_c , f_i , f_o 는 세가지 세부 특징들, 색상, 밝기, 방위에 대한 세부 특징 지도 상의 현저성, w_c , w_i , w_o 는 각 세부 특징들에 대한 가중치로 그 합, $w_c + w_i + w_o = 1$ 이다. w_f 는 얼굴 자극에 대한 가중치로 얼굴 자극에 대해서는 임의의 상수값, 비얼굴자극에 대해서는 1이다. 본 연구에서는 현저성 모형의 세부 특징별 가중치의 조합을 달리하는 세 가지 세부 모형들을 가정했다. 첫 번째, ‘균등 가중치 모형’은 상향적 현저성만을 고려한 모형으로, 모든 세부 특징이 동일한 가중치로 합산되며($w_c = w_i = w_o = 0.33$), 얼굴 자극은 물리적 속성 이상의 가중치를 갖지 않는다($w_f = 1$). 두 번째, ‘비균등 가중치 모형’은 하향적 주의 조절 기제를 포함한 모형으로, 세부 특징들이 동일하지 않은 가중치로 합산되며($w_c \neq w_i \neq w_o$), 얼굴 자극은 다른 자극 범주와 동일한 가중치를 갖는다($w_f = 1$). 마지막으로, ‘얼굴 포함 비균등 가중치 모형’은 세부 특징들이 동일하지 않은 가중치로 합산되며($w_c \neq w_i \neq w_o$), 얼굴 자극은 다른 자극 범주와 다른 가중치

를 갖는다($w_f \neq 1$).

방 법

자료

이상의 연구 문제를 검증하기 위하여 Kwon 등(2016)의 실험 1A에 사용된 4-8개월 영아의 눈움직임 자료 및 실험자극의 현저성 값을 연구책임자 및 저자들의 동의를 얻어 재분석하였다. 이 표본에는 4개월 영아 22명, 6개월 영아 15명, 8개월 영아 16명이 포함되었으며, 각 영아에게는 얼굴, 곰인형, 자동차, 꽃, 유아용 물병, 신발의 6가지 범주가 함께 제시된 사진(그림 1의 왼쪽 사진 참조)이 약 5초 동안 12번의 시행에 걸쳐 주어졌다(실험 자극 및 절차는 Kwon et al., 2016 참고). 각 범주별 사진은 범주별 12개의 사진 중에서 컴퓨터 프로그램에 무선적으로 선택되었으며, 한 번 제시된 사진은 다음 시행에서는 제외되었다. 이러한 무선 선택은 특정 제시 순서 혹은 특정 자극들의 조합의 의도하지 않은 효과를 최소화하기 위한 방편으로 선택되었으며, 그 결과 모든 영아는 12시행에 걸쳐 총 72장(6개의 범주 x 각 범주 내 사진 12장)의 사진을 동일하게 보았지만, 각 시행에 제시되는 사진들 간의 조합(즉, 어떤 꽃과 어떤 얼굴, 어떤 곰인형 등등이 같은 시행에 제시되는가)은 영아들 간에 차이가 있었다. 영아의 특성상 실험 도중 영아들이 전혀 다른 방향을 쳐다보거나 보채는 등의 의미있는 눈움직임 자료로 사용할 수 없는 경우 자료 분석에서 제외하였으며, 그 결과 영아별로 최소 6시행에서 최대 12시행의 눈움직임 자료가 최종 눈움직임 표

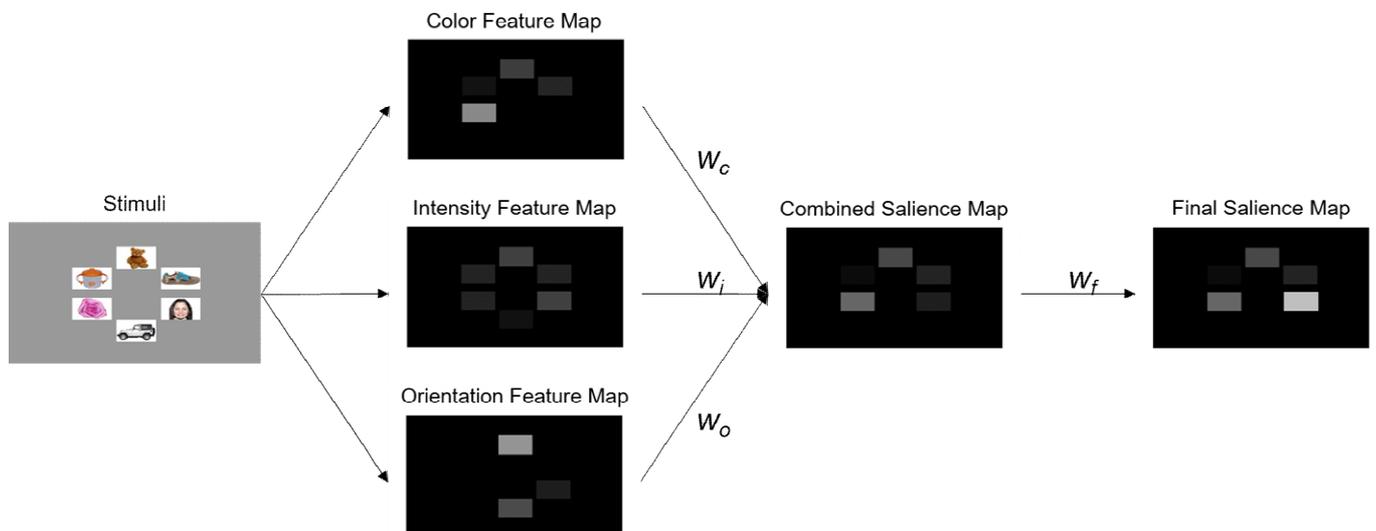


Figure 1. An example of saliency map. The model used in this study includes both bottom-up and top-down modules of visual attention. In feature maps and saliency maps, bright areas are for high saliency objects/locations, and dark areas for low saliency. Top-down attention is implemented in weights for feature maps (w_c , w_i , and w_o) and weight for the face category (w_f).

본에 포함되었다(제외된 자료에 대한 자세한 설명은 Kwon et al., 참고). 영아의 개인적 흥미 등 다른 외적 변인의 영향을 최소화하기 위하여 영아의 최초 응시(first fixation) 자료를 사용하였다.

또한, Kwon 등의 연구에서는 기존의 다른 행동 연구와 마찬가지로 영아 개개인의 눈움직임 자료를 자극의 범주별로 분석하였으나, 이와 같은 분석 절차는 모형 적합(model fitting)을 하기에는 시행수가 부족하기 때문에, 각 개월 집단별로 모든 영아의 시행을 합쳐서 분석했다. 결과적으로, 데이터 분석에는 233시행(4개월), 170시행(6개월), 그리고 186시행(8개월)이 사용되었다.

시각 자극에 대한 세부 특징별 특징 지도를 계산하기 위해서, 현저성 모형을 MATLAB 프로그래밍 언어로 구현한 현저성 툴박스를 사용했다. 현저성 툴박스는 주어진 이미지 혹은 동영상의 각 위치에 대한 상향적 현저성을 계산해주는 프로그램으로, 복잡한 연산을 필요로 하는 현저성 계산을 간단하게 실시할 수 있어 공간적 주의와 눈움직임을 연구하는 많은 연구들에서 이용되고 있다. 현저성 툴박스를 사용한 대부분 주의 연구들은 성인의 눈움직임 자료를 사용하여 모형의 예측 정확도를 검증하여 왔으나(Bruce & Tsotsos, 2009; Harel, Koch, & Perona, 2007; Itti et al., 1998; Wang, Borji, Kuo, & Itti, 2016), 최근에는 영아 및 아동의 시각적 주의를 검증하는 연구들에도 사용이 되고 있다(Amsó et al., 2014; Amsó, Haas, Tenenbaum, Markant, & Sheinkopf, 2013; Gluckman & Johnson, 2013; Kwon et al., 2016).

결 과

모형 적합

세 가지 모형을 검증하기 위해, 우선 영아들의 눈움직임 데이터를 가장 잘 설명하는 가중치값을 추정하였다. 균등 가중치 모형에서는 색상, 밝기, 방위에 대한 가중치를 동일하게 설정했다(즉, 상대적 가중치는 0.33:0.33:0.33). 그리고, 현저성 툴박스를 이용해, 이 가중치 조합에서 예상되는 자극들의 상향적 현저성을 계산했다. 현저성 툴박스는 각 픽셀에 해당하는 현저성을 계산하기 때문에, 각각의 자극에 해당하는 픽셀들의 현저성을 평균내어 자극의 현저성을 산출했다. 그리고, 각 시행에서 제시되는 여섯 개의 자극 중, 현저성이 가장 높은 자극으로 영아들의 최초 시선 이동이 발생하는 시행, ‘현저자극-응시시행’의 개수를 계산했다. 비균등 가중치 모형에서는 방위에 대한 가중치를 1로 고정(채1), 색상, 밝기

기에 대한 가중치를 각각 0에서 15까지 .05간격(31개 수준)으로 설정하고, 세 가중치의 합이 1이 되도록 상대적 가중치를 계산했다. 모든 가중치 조합 중, 현저자극-응시시행의 개수가 가장 많은 가중치 조합을 최적 가중치 조합으로 선정했다. 현저자극-응시시행의 개수가 동일한 가중치 조합이 여러 개 있을 경우에는, 두 번째 현저한 자극으로 최초 응시가 이루어진 시행의 개수가 많은 조합을 선정했다. 얼굴 포함 비균등 가중치 모형에서는, 얼굴에 대한 가중치를 0에서 15까지 .01간격(151개 수준)으로 추가적으로 설정하고, 얼굴 자극에 대해서 상향적 현저성에 얼굴 가중치를 곱해서 현저성을 계산했다. 각 모형에서 데이터를 가장 잘 설명하는 가중치값들이 표 1에, 각 모형의 현저자극-응시시행의 비율이 그림 2에 요약되어 있다. 비균등 가중치 모형은 4개월 집단에서는 색상에 대해, 6개월과 8개월 집단에서는 강도에 대해 상대적으로 높은 가중치를 보였다. 하지만, 얼굴 포함 비균등 가중치 모형에서는 모든 집단에서 방위에 대해 상대적으로 높은 가중치를 나타냈다. 이는 얼굴 자극이 갖는 상향적 속성에 대한 가중치와 얼굴 자극 범주가 갖는 하향적 주의의 가중치가 상호 작용해 서로 다른 패턴의 가중치가 나타나는 것으로 보인다.

이항 검정

각 모형이 영아들의 시선 이동을 잘 설명하는지 확인하기 위해, 다시 말해 각 모형의 현저자극-응시시행 비율이 우연 수준인 0.17(=1/6)과 통계적인 차이를 보이는지 확인하기 위해 이항 검정(binomial test)을 실시하였다. 검정 통계치 z 와 단측 검정 유의 수준은 표 1에 요약되어 있다. 4개월 영아들의 데이터에 대한 검정 결과, 균등 가중치 모형이 예측하는 현저자극-응시시행의 비율은 우연 수준과 유의미한 차이를 나타내지 않았지만, 비균등 가중치 모형과 얼굴 포함 비균등 가중치 모형은 유의미한 차이를 나타냈다. 이와 같은 패턴은 6개월과 8개월 영아들의 데이터에서도 동일하게 관찰되었다. 이 결과는, 균등 가중치 모형이 영아의 눈움직임을 설명하기에 적합하지 않음을 의미한다.

(31*31*31개의 조합)이 되는 것이 타당하지만, 이 가중치들은 그 합이 1이 되도록 조정되기 때문에 임의의 한 개 세부 특징을 고정해도 모든 상대적 가중치 조합을 생성할 수 있다. 예를 들어, 색상:밝기:방위의 가중치가 (1) 0.5:2:1인 조합은 1:4:2인 조합과 상대적 가중치(0.14:0.57:0.29)가 동일하며, (2) 0.1:0.2:1인 조합은 0.5:1:5 혹은 1:2:10과 상대적 가중치(0.08:0.15:0.67)가 동일하다. 이와 같은 중복 계산을 막기 위해, 방위에 대한 가중치를 고정하고 계산했다.

1) 가중치 조합은 모든 세부 특징들(색상, 밝기, 방위 모두)에 대한 조합

모형 비교

이항검정을 통해, 비균등 가중치 모형과 얼굴 포함 비균등 가중치 모형은 영아들의 시선 이동을 우연 수준보다 유의미하게 잘 설명하지만, 균등 가중치 모형은 그렇지 못함이 나타났다. 그렇다면, 비균등 가중치 모형과 얼굴 포함 비균등 가중치 모형 중 어떤 모형이 영아들의 시선 이동을 더 잘 설명할 수 있을까? 가중치 모형 비균등 가중치 모형과 얼굴 포함 비균등 가중치 모형의 현저자극-응시시행 비율을 비교하기 위해, 맥니마 검정(McNemar Test)를 실시했다. 맥니마 검정은 짝지은(paired) 명목 척도 데이터에 행해지는 비모수 통계 검정으로, 2X2 교차표의 두 개 빈도 혹은 비율이 동일한지 여부를 검정하는 기법이다(McNemar, 1947). 다시 말해, 얼굴 포함 비균등 가중치 모형에서는 가장 현저하지만 비균등 가중치 모형에서는 가장 현저하지는 않은 자극들에 대해 최초 시선 이동이 발생하는 시행의 횟수를 S라 하고, 비균등 가중치 모형에서는 가장 현저하지만 얼굴 포함 비균등 가중치 모형에서는 가장 현저하지는 않은 자극들에 대해 최초 시선 이동이 발생하는 시행의 횟수를 F라 할 때, S의 비율이 우연 수준(0.5)보다 높은지 검증한다. 검정 통계치 z 는 다음과 같이 계산된다(Freund et al., 2010).

$$z = \frac{\frac{S}{F+S} - 0.5}{\sqrt{0.5 \times 0.5 \times (F+S)}}$$

단측 검정 결과, 얼굴 포함 비균등 가중치 모형은 4개월 영아들에게는 비균등 가중치 모형보다 높은 현저자극-응시

시행 비율을 나타내지 않았지만($z = -.98, p = .837$), 6개월과 8개월 영아들에게는 통계적으로 높은 현저자극-응시시행 비율을 나타냈다(6개월 $z = 2.01, p = .022$; 8개월 $z = 4.00, p < .001$). 이 결과는, 4개월 영아들은 얼굴을 그 상향적 세부 속성에 기인한 상향적 현저성 정보만을 기반으로 주의 이동을 함에 비해, 6개월과 8개월의 영아들은 얼굴의 상향적 현저성 이외에도 특정 자극 범주에 대한 정보를 기반으로 하향적 주의를 할당함을 의미한다.

모형 적합을 할 때, 더 많은 모수(parameter)를 가지고 있는 모형이 그렇지 않은 모형보다 더 높거나 동일한 모형 적합도(goodness of fits; 여기서는 현저자극 - 응시시행의 비율)를 나타낸다. 따라서, 모형의 복잡도를 감안하면, 얼굴 포함 비균등 가중치 모형(모수 4개)이 비균등 가중치 모형(모수 3개)보다 더 데이터를 잘 설명하는 모형이라는 McNemar 검정 결과는 조심스럽게 해석되어야 할 것이다. 하지만, 얼굴 포함 비균등 가중치 모형의 우월성은 4개월 영아들에게는 나타나지 않다가, 6개월과 8개월 영아들에게서는 유의미하게 나타났다. 이러한 발달적 차이는, 영아들이 자라남에 따라 시각 자극을 처리하고 주의를 이동하는 방식에 변화가 생기는 것을 의미한다. 또한, 이같은 발달적 변화는 표 1에 나타난 얼굴 포함 비균등 가중치 모형의 얼굴에 대한 최적 가중치 값의 변화에서도 관찰되는데, 영아가 발달을 진행함에 따라 얼굴에 대해 점점 더 높은 가중치를 부여하는 것으로 나타났다(4개월 2.31배; 6개월 3.10배; 8개월 8.96배).

Table 1. Best fitting weights and proportion of fixations on the most salient object/location

Group	Model	w_c	w_i	w_o	w_f	p(fixation @salient)	z	p-value
4 Month	Equal weights	0.33	0.33	0.33	-	.21	1.61	.054
	Unequal weights	0.52	0.24	0.23	-	.25	3.37	<.001
	Unequal weights w/ Face weight	0.31	0.11	0.57	2.31	.26	3.72	<.001
6 Month	Equal weights	0.33	0.33	0.33	-	.19	0.96	.168
	Unequal weights	0.27	0.68	0.05	-	.24	2.61	.005
	Unequal weights w/ Face weight	0.17	0.17	0.67	3.10	.37	7.13	<.001
8 Month	Equal weights	0.33	0.33	0.33	-	.18	0.39	.347
	Unequal weights	0.00	0.64	0.36	-	.29	4.53	<.001
	Unequal weights w/ Face weight	0.39	0.12	0.49	8.96	.48	11.41	<.001

Note. p(fixation@salient) represents proportion of trials in which the first fixation was made on the most salient object/location out of six stimuli. Test statistics, z , and corresponding p -values are for the binomial test.

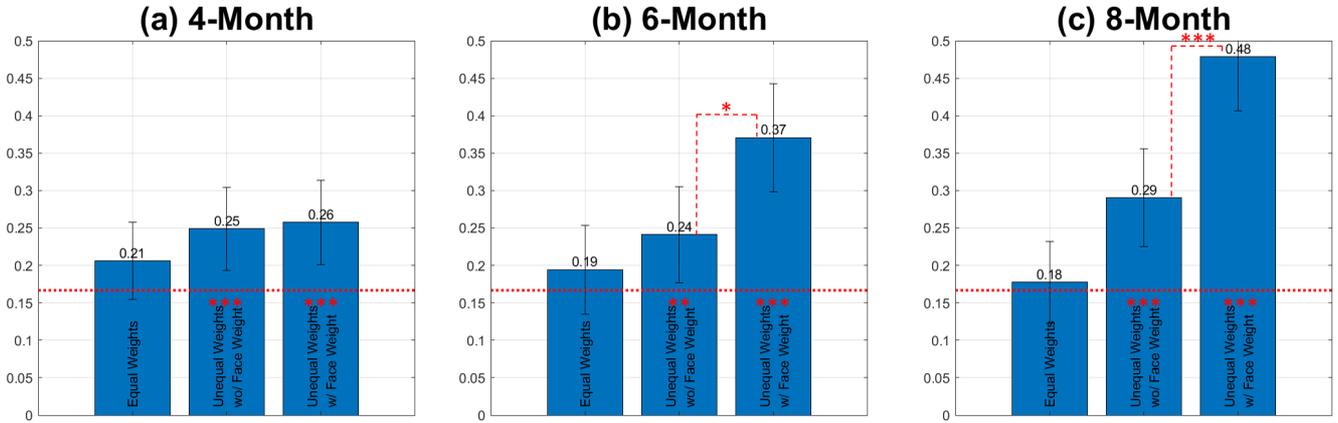


Figure 2. Proportion of fixations on the most salient object/location for three models in (a) 4-month, (b) 6-month and (c) 8-month old infants. The chance level is denoted by dotted lines. Error bars represent 95% confidence intervals. Asterisks below the dotted lines indicate statistical significance of binomial tests, and asterisks between unequal weighted models indicate significance of McNemar tests (* for $p < .05$, ** for $p < .01$, and *** for $p < .001$)

논 의

최근 영아 및 아동을 대상으로 한 시각적 주의 연구에서 상향적 현저성을 비교, 통제하는 연구가 점차 늘고 있으나 (Amso et al., 2013; Amso et al., 2014; Gluckman & Johnson, 2013; Kwon et al., 2016) 영아의 발달적 차이를 고려한 현저성 모형 자체에 대해서는 밀도있는 논의가 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 영아들의 눈움직임을 잘 설명하는 현저성 지도를 계산하기 위해 기존 영아 연구에 가장 많이 사용되고 있는 Walther와 Koch(2006)의 현저성 툴박스를 사용했다. 하향적 주의 기제를 현저성 지도 계산에 고려하지 않았던 기존의 연구들과는 다르게, 세부 특징 간의 가중치와 얼굴 범주에 대한 가중치를 각기 다르게 부여했다. 이는 현저성 툴박스가 기반으로 하고 있는 현저성 모형(Itti et al., 1998)과도 잘 합치할 뿐 아니라, 영아들의 눈움직임을 더 잘 설명한다. 구체적으로, 본 연구 결과 및 함의는 다음과 같다.

첫째, 하향적 주의 기제를 무시한 채 상향적 현저성만을 고려한 균등 가중치 모형의 영아들의 눈움직임에 대한 예측은 우연 수준과 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 현저성 툴박스에서는 각 세부 특징들 간의 가중치가 임의의 기본값(1:1:1)으로 설정되어 있지만, 이 값을 그대로 사용하는 것에는 주의를 기울여야 할 것으로 보인다. 기존의 영아 연구들(Amso et al., 2013; Amso et al., 2014; Gluckman & Johnson, 2013; Kwon et al., 2016)에서는 툴박스에서 제공하는 임의의 기본값을 그대로 사용하여 왔다. 따라서, 추후 연구들에서는 영아의 특성에 맞는 가중치를 사용하는

것이 바람직할 것이다.

또한, 본 연구의 비균등 가중치 모형과 얼굴 포함 비균등 가중치 모형은 모형 적합을 통해 데이터를 가장 잘 설명하는 가중치값들을 산출했는데, 이 접근은 눈움직임과 주의 발달에 대해 균등 가중치 모형보다 더 많은 정보를 제공한다. 최적의 모형에 대한 검정이 가능할 뿐 아니라, 조건 혹은 집단에 따른 세부 특징들 간의 가중치 값과 특정 범주에 대한 가중치의 변화 등의 정보를 추가적으로 제공할 수 있다. 특히, 얼굴 포함 비균등 가중치 모형의 적합 결과는 4개월 영아집단은 얼굴 자극에 2.31배의 가중치만을 부여함에 비해, 6개월 영아 집단은 3.10배, 8개월 영아집단은 8.96배에 해당하는 가중치를 부여함을 보여준다. 이러한 얼굴의 가중치 증가는 기존의 영아의 얼굴로의 주의 편향에 대한 발달 연구 결과를 구체적이고 종합적으로 이해하는 데에도 함의를 가진다. Fagan(1972)의 연구 이래로 영아는 태어나면서부터 얼굴과 유사한 자극에 흥미를 느끼는 것으로 알려져 있으나, 얼굴이 다른 자극과 함께 제시될 때에는 6개월 미만의 영아집단의 얼굴로의 주의 편향이 일관되지 않은 것으로 알려져 있다(Di Giorgio, Turati, Altoe, & Simion, 2012; Frank, Amso, & Johnson, 2014; Frank, Vul, & Johnson, 2009; Kwon et al., 2016). 특히 6개월 미만의 영아의 경우 동일한 얼굴 자극이 주어지더라도 주변의 다른 자극의 상향적 현저성에 따라 얼굴을 다른 자극보다 먼저 응시하는 경향이 달라진다(Kwon et al., 2016). 이러한 상이한 결과는 본 연구에서 보인 4개월에서 8개월 사이의 영아의 얼굴의 가중치 변화 결과로 상당 부분 설명이 가능하다. 즉, 4개월의 경우 얼굴의 가중치는 다른 상향적 현저성보다 약간 높으나 다른 연

령 집단에 비해 크게 차이가 나타나지 않았다. 그러므로 얼굴과 다른 자극이 함께 제시될 때 상향적 현저성의 영향을 많이 받았을 가능성이 있다. 반면에 6개월 이상(6개월, 8개월)의 두 집단에서는 얼굴의 가중치가 다른 상향적 현저성보다 유의미하게 높았기 때문에, 얼굴과 상향적 현저성이 높은 다른 자극이 함께 제시되더라도 얼굴로의 주의 편향을 보일 수 있었을 것이다.

본 연구는 연령에 따른 영아의 현저성 모형의 예측성 효과를 밝힌 점에서 중요한 함의를 가지지만, 본 연구 결과가 어느 정도 일반화할 수 있을 것인가에 대해서는 후속 연구가 필요하다. 후속 연구를 위한 본 연구자들의 제안은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 기존 영아 연구 결과의 해석 및 후속 연구에 도움이 되고자 기존 영아 연구에 가장 많이 사용되고 있는 현저성 계산 도구인 현저성 툴박스를 이용해 영아의 발달 양상을 검증하였다. 성인 연구의 주요 관심사인 예측력이 가장 높은 현저성 모형 및 계산 도구들을 검증하는 것은 본 연구의 범위를 벗어나지만, 추후 연구를 통해 현저성 툴박스 이외에도 현존하는 여러 현저성 모형들 및 계산 도구들을 비교하는 것은 의미 있는 공헌이 될 것이다. 또한, 본 연구에 사용된 자극들 외에 다른 자극을 사용하였을 때에도 동일한 발달 양상과 가중치 효과가 나타나는지 검증하는 것은 본 연구 결과의 일반화 가능성을 살펴보는 것뿐만 아니라 인간의 주의 이동의 예측 및 발달 양상을 이해하는 데 도움이 될 것이다.

References

- 김민식 (1999). 시각적 선택에 대한 신경망 모형: Feature Gate 모형의 하향적 기제, *한국인지과학회지*, 10, 1-15.
- Amso, D., Haas, S., & Markant, J. (2014). An eye tracking investigation of developmental change in bottom-up attention orienting to faces in cluttered natural scenes. *PLoS One*, 9, e85701.
- Amso, D., Haas, S., Tenenbaum, E., Markant, J., & Sheinkopf, S. J. (2013). Bottom-up attention orienting in young children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44, 664-673.
- Bruce, N. D., & Tsotsos, J. K. (2009). Saliency, attention, and visual search: An information theoretic approach. *Journal of Vision*, 9, 1-24.
- Cave, K. R., Kim, M-S., Bichot, N. P., & Sobel, K. V. (2005). The FeatureGate model of visual selection. In L. Itti, G. Rees, & J. K. Tsotsos (Eds.), *Neurobiology of Attention* (pp. 547-552). San Diego, CA: Elsevier.
- Di Giorgio, E., Turati, C., Alto, G., & Simion, F. (2012). Face detection in complex visual displays: an eye-tracking study with 3- and 6-month-old infants and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113, 66-77.
- Fagan, J. F. (1972). Infants' recognition memory for faces. *Journal of Experimental Child Psychology*, 14, 453-476.
- Frank, M. C., Amso, D., & Johnson, S. P. (2014). Visual search and attention to faces during early infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 118, 13-26.
- Frank, M. C., Vul, E., & Johnson, S. P. (2009). Development of infants' attention to faces during the first year. *Cognition*, 110, 160-70.
- Freund, R. J., Mohr, D., & Wilson, W. J. (2010). *Statistical methods* (3rd ed.). Burlington, MA: Academic Press.
- Gluckman, M., & Johnson, S. P. (2013). Attentional capture by social stimuli in young infants. *Frontiers in Psychology*, 4, 527.
- Harel, J., Koch, C., & Perona, P. (2007). Graph-based visual saliency. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 19, 545.
- Itti, L. (2005). Models of bottom-up attention and saliency. In L. Itti, G. Rees, & J. K. Tsotsos (Eds.), *Neurobiology of Attention* (pp. 576-582). San Diego, CA: Elsevier.
- Itti, L., Koch, C., & Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20, 1254-1259.
- Johnson, M. H. (2010). *Developmental cognitive neuroscience*. Oxford: John Wiley & Sons Inc.
- Judd, T., Durand, F., & Torralba, A. (2012). *A benchmark of computational models of saliency to predict human fixations* (Tech. Rep. MIT-CSAIL-TR-2012-001). Cambridge, MA: MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory.
- Knudsen, E. I. (2007). Fundamental components of attention. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 57-78.
- Kwon, M.-K., Setoodehnia, M., Baek, J., Luck, S. J., & Oakes, L. M. (2016). The development of visual search in infancy: Attention to faces versus salience. *Developmental Psychology*, 52, 537-555.
- McNemar, Q. (1947). Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages.

- Psychometrika*, 12, 153–157.
- Niebur, E. & Koch, C. (1998). Computational architectures for attention, In R. Parasuraman (ed.), *The Attentive Brain* (pp. 163–186). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Nothdurft, H. (2000). Saliency from feature contrast: Variations with texture density. *Vision Research*, 40, 3181–3200.
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135, 77-99.
- Walther, D. (2006). Interactions of visual attention and object recognition: Computational modeling, algorithms, and psychophysics. PhD thesis, California Institute of Technology, Pasadena.
- Walther, D. & Koch, C. (2006). Modeling attention to salient proto-objects. *Neural Networks* 19, 1395-1407.
- Wang, J., Borji, A., Kuo, C.-C. J. & Itti, L. (2016). Learning a combined model of visual saliency for fixation prediction. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25, 1566-1579.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 202–238.

현저성 모형에서 하향적 주의 기제의 발달적 차이

백중수¹, 권미경^{2*}

¹연세대학교 글로벌융합기술원

²유타대학교 아시아 캠퍼스

본 연구에서는 영아의 눈응시에 영향을 미치는 현저성과 상향적 주의 기제의 발달적 차이를 다음의 세 가지 모형을 사용하여 검증하였다. 첫째, 현저성 모형을 구성하는 각 세부 특징들 간에 동일한 가중치를 가정하는 균등 가중치모형, 둘째, 각 세부 특징들 간에 다른 가중치를 가정하는 비균등 가중치모형, 마지막으로 세부 특징들 간의 다른 가중치에 덧붙여 얼굴 범주의 자극에 대한 추가적인 가중치를 가정하는 얼굴 포함 비균등 가중치모형을 사용하여, 각 모형에서 4, 6, 8개월 영아들의 눈움직임 데이터를 개별별로 가장 잘 설명하는 가중치를 추정하였다. 그 결과, 비균등 가중치모형과 얼굴 포함 비균등 가중치모형은 영아의 눈움직임을 우연 수준 이상으로 잘 설명함에 비해, 기존 영아 연구에서 광범위하게 사용되던 균등 가중치모형은 그러지 못함을 보였다. 또한, 얼굴 포함 비균등 가중치모형은 비균등 가중치모형에 비해 6개월과 8개월 영아들의 눈움직임을 유의미하게 잘 설명했다. 본 연구 결과는, 영아들의 발달에 따라, 상향적 세부 특징들이 각기 다른 수준으로 시각 및 주의 체계에 기여하게 되며(하향적 주의 기제), 얼굴 자극에 대해 더 많은 주의를 기울이게 됨을 의미한다. 뿐만 아니라, 정확한 주의 및 눈움직임 연구를 위해서는 현저성 모형의 세부 특징들 간의 가중치를 조정하는 노력이 필요함을 시사한다.

주제어: 상향적 주의, 하향적 주의, 현저성, 현저성 툴박스, 영아, 발달, 얼굴