



Location Probability Learning depending on the Frequency of Target Appearance and the Monetary Reward in Visual Search

Gareum Sung¹, Min-Shik Kim^{1*}

¹Department of Psychology, Yonsei University

The present study aimed to examine the strong influence of location probability learning(LPL) depending on the frequency of target appearance in various visual search environments. Experiment 1 confirmed the effect of controlling the expected value on the spatial attentional biases by target prevalence. The target is always frequently presented at a specific quadrant. Experiment 1A(Reward Value Control) was constructed that the expected value was manipulated to increase in the high-frequency quadrant by presenting high and low rewards with even distribution in all quadrants. Meanwhile, Experiment 1B(Expected Value Control) was constructed to control the expected value in all quadrants by presenting a lower reward when the target appeared in the high-frequency quadrant compared to the low-frequency quadrant. The difference in the visual search task of Experiment 2 was that reward cues were provided before beginning the search array to enhance the prospect of reward. In Experiment 3, the multi-target detection task was used to manipulate the induced situation with attentional competition among to-be-detected targets. As a result, all experiments showed that the reaction time in the high-frequency quadrant was significantly faster than in the low-frequency quadrant. These results suggest that the effect of LPL affected by the target prevalence is consistently robust in visual search environments with the controlled expected value and high reward prospect or increase of attentional competition.

Keywords: reward learning, location probability learning, visual search, spatial attention, expected value

1차원고접수 22.09.07; 수정본접수: 22.12.06; 최종게재결정 22.12.13



Copyright: © 2023 The Korean Society for Cognitive and Biological Psychology. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited and the use is non-commercial.

선택적 주의(selective attention)란 수많은 정보들 중 필요한 정보를 선택하고 불필요한 정보들을 억제하는 과정이다(Posner & Boies, 1971). 전통적으로는 자극의 현저성과 같은 외적 요인에 의한 상향적(bottom-up) 정보처리 또는 목표와 같은 내적 요인에 의한 하향적(top-down) 정보처리에 따른 선택적 주의에 초점을 맞춰왔다(Desimone & Duncan, 1995; Egeth & Yantis, 1997; Kim & Cave, 1999; Wolfe et al, 1989). 최근에는 이러한 전통적 관점에서 나아가 개인

의 이전 경험에 따른 선택적 주의의 중요성이 강조되고 있는데, 선택적으로 주의를 유도하는 이전 경험에는 시행 간 점화, 통계적 지식 및 보상 이력 등이 있다(Awh et al, 2012; Failing & Theeuwes, 2018; Jiang & Sisk, 2019). 예를 들어, 연락이 안 되는 친구를 찾는 상황에서 친구가 자주 다니던 장소를 먼저 떠올리는 것과 같이 우리는 반복적인 경험을 통해 획득된 확률적 정보에 의해 주의를 유도된다. 또한, 100원이 부족한 상황에서 습관적으로 주머니 속이나 침대

* 이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2021S1A5A2A01062955).

† 교신저자: 김민식, 연세대학교 심리학과, (03722) 서울 서대문구 연세로 50, E-mail: kimm@yonsei.ac.kr

및 등을 확인해보는 것처럼 반복적인 보상 획득 이력에 의해서도 주의가 유도된다. 이러한 이전 경험들은 의식 혹은 무의식적으로 인간의 선택적 주의에 영향을 미친다.

먼저 통계적 지식에 의한 주의 편향을 보여주는 대표적인 연구는 위치 확률 학습(Location Probability Learning)이다. 표적이 높은 확률로 출현하는 고빈도 사분면에서의 탐색 속도가 빨라지는 위치 확률 학습 효과는 출현 빈도가 모든 사분면에서 동일해지는 상황에도 비교적 오랜 기간 유지된다(Jiang & Sisk, 2019; Shaw & Shaw, 1977). 이러한 위치 확률 학습은 표적이 빈번하게 출현하는 위치로 주의가 집중되는 우연한 수행들을 반복하며 형성된 암묵적 기억에 영향을 받는다(Chun & Jiang, 1998; Miller, 1988). 따라서, 자동적이며 규칙성에 대해 의식적으로 학습하고자 하는 의도가 없이도 암묵적으로 발생한다(Schapiro & Turk-Browne, 2015). 그리고 통계적 지식에 의한 위치 확률 학습은 과제와 무관한 방해 자극에서도 나타나며, 새로운 규칙성이 나타나도 쉽게 변하지 않는다는 점에서 상당히 안정적이라는 특징을 가진다(Jiang & Sisk, 2019; Liesefeld & Muller, 2021; Sauter et al, 2019). 그러나 최근 Hong 등(2020)에 따르면 맥락이 탐색할 표적을 결정하는 것과 같이 과제와 밀접한 관련이 있는 경우, 맥락 정보에 따라 표적이 빈번하게 출현하는 위치가 달라지는 것에 대해 유연한 학습이 가능하다.

한편, 가치 기반 주의 포획(value driven attentional capture)이란 높은 보상과 연합된 특징에 자동적으로 주의가 포획되는 현상으로, 보상 이력(reward history)이 주의 포획에 미치는 영향을 보여준다. 이러한 현상 역시 더이상 보상이 주어지지 않는 상황에서도 비교적 오랜 기간 유지되며, 높은 보상과 연합된 특징이 과제와 무관한 방해 자극에 나타날 때도 발생한다는 점에서 안정적이라는 특징을 가진다(Anderson, 2013; Anderson et al, 2011; Anderson et al, 2012; Anderson & Yantis, 2013). 그러나, 보상 이력에 의한 주의 포획이 유연하게 발생한다는 것을 보여주는 연구들도 있다. Anderson(2017)에 따르면 높은 보상과 연합된 특징과 유사하나 전혀 새로운 자극으로도 주의 포획이 전이되며, Anderson(2015)에 따르면 맥락 정보에 따라 특징의 보상 제공 여부가 달라질 때 보상이 주어지지 않는 맥락에서는 해당 특징에 대한 가치 기반 주의 포획이 나타나지 않는다. 즉, 주의 포획 효과가 유연하게 다른 자극으로 전이되거나 맥락에 따라 그 효과가 사라질 수 있음을 보여준다. 결과적으로, 반복적 경험을 통해 획득한 통계적 지식과 보상 이력은 주의 편향 및 포획을 발생시키며, 이는 규칙성이 사라지는 상황에서도 비교적 오랜 기간 유지된다.

이처럼 개별적인 과제를 통한 통계적 지식과 보상 이력의 주의 통제 효과가 밝혀져 오고 있으나, 실제 세계에서 경험에서 한 가지 정보만을 가지고 있는 경우는 흔하지 않다. 이에 최근에는 통계적 지식과 보상 크기의 주의 통제 효과를 동시에 한 가지 과제에서 확인하기 위한 시도들이 진행되고 있다. 먼저 Won과 Leber(2016)의 연구는 위치 확률 학습 상황에서 통계적 지식과 보상 이력이 주의 편향에 미치는 영향력을 확인하였다. 보상 이력의 영향력을 확인하기 위해 모든 사분면에서 표적이 출현하는 빈도는 동일하게 통제하고, 특정 사분면에서 높은 보상이 높은 확률로 제시되도록 조작하였다. 이때, 높은 보상이 제시되는 사분면이 다른 사분면에 비해 효율적인 탐색을 보이지 않았다. 한편, 통계적 지식의 영향력을 확인하기 위해서는 특정 사분면에서 표적이 높은 빈도로 출현하도록 조작하고, 모든 사분면에서 높은 보상과 낮은 보상이 동일한 확률로 제시되도록 통제하였다. 이때, 고빈도 사분면에서 다른 사분면에 비해 유의하게 빠른 탐색 속도를 보이는 것을 확인하였다. 이를 통해, 통계적 지식과 달리 보상 이력은 특정 위치로의 공간주의 편향을 발생시키지 못하며(Jiang et al, 2015), 보상 강도 정보와 위치 간의 연합은 표적이 여러 개이거나 규칙을 의식적으로 알아차린 경우에만 발생한다고 주장하는 기존의 연구들과 일치하는 결과를 확인하였다(Sisk et al, 2020; Mine et al, 2021). 해당 연구의 설계는 모든 사분면에서 높은 보상과 낮은 보상의 출현 확률을 동일하게 제시하여 보상값을 통제하였다. 그러나, 결국 고빈도 사분면에서 보상을 받는 빈도 자체가 증가하고 이에 따라 해당 사분면은 다른 사분면에 비해 높은 기댓값을 갖게 된다. 다시 말해, 고빈도 사분면에서의 높은 탐색 효율성은 기댓값의 영향을 받았을 가능성이 있으며, 고빈도 사분면에서의 탐색 효율성에 반드시 표적 출현 빈도만이 영향을 주었다고 해석하기에는 어려움이 있다.

또한, Kim 과 Anderson(2021)의 연구에서는 하나의 시각 탐색 과제에서 통계적 지식과 보상 크기에 의한 주의 통제 효과를 확인하는 것에서 나아가 두 정보 간의 상호작용 여부를 확인하였다. 특정 색상에는 높은 보상이 빈번하게 출현하도록 하고 또 다른 색상에는 보상이 출현하지 않도록 하였으며, 특정 위치에는 현저한 방해 자극이 높은 빈도로 출현하도록 조작하였다. 실험 결과, 높은 보상이 빈번하게 나타나는 색상으로의 주의 포획과 방해 자극이 빈번하게 출현하는 위치에서의 주의 억제 효과 모두를 확인하였다. 보상 크기와 방해 자극 출현 빈도 정보 간의 상호작용 효과는 없는 것으로 보아, 두 정보는 개별적인 메커니즘에 따른 주의 통제 효과를 가지고 있음을 검증하였다. 하지만, 상호작용이 나타나

지 않은 이유는 보상 크기와 방해 자극 출현 빈도가 서로 다른 차원과 연합되었으며, 두 정보는 서로 다른 주의 통제 효과를 알아보도록 조작되었기 때문일 수 있다. 해당 연구에서 현저한 방해 자극에 대한 통계적 지식은 위치 차원과 연합되어 주의 역제를 유발하도록 조작되었고, 보상 크기는 색 차원과 연합되어 주의 포획을 유발하도록 조작되었다. 즉, 두 정보가 독립적인 효과를 보인 것은 각 정보가 서로 다른 차원과 연합되어 나타난 효과이며, 정보에 따라 다른 주의 통제가 이루어져야 했기 때문이라고 해석 가능하다.

이에 본 연구는 하나의 위치에서 표적 출현 빈도와 보상 크기를 모두 조작한 다양한 시각탐색 과제를 이용하여 표적 출현 빈도와 보상 크기 정보에 의한 공간주의 편향 가능성을 확인하고자 수행되었다. 실험 1은 Won과 Leber(2016)의 설계를 차용하여 특정 사분면에서 표적이 높은 확률로 출현하도록 하되, 고빈도 사분면에서는 저빈도 사분면에 비해 적은 보상이 높은 확률로 제시되도록 하여 모든 사분면의 기댓값을 통제하는 실험을 추가하였다. 실험 1을 통해, 표적이 빈번하게 출현하는 고빈도 사분면에서 반응 속도가 빨라지는 위치 확률 학습을 반복 검증하고 기댓값을 통제된 상황에서도 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습이 강력하게 나타나는가를 확인하였다. 실험 2에서는 탐색 과제 이전에 획득하게 될 보상 단서를 미리 제공함으로써, 보상 예측력이 높아진 시각탐색 상황에서 실험 1의 가설을 확인해보았다. 실험 3에서는 다중표적 탐지 과제를 사용하여 탐지해야 할 표적들 간 주의 경쟁이 발생하는 시각탐색 상황을 제시하고, 고빈도 사분면과 고보상 사분면에서의 반응 속도가 빨라지는 위치 확률 학습이 나타나는가를 확인하였다.

실험 1

실험 1에서는 표적 출현 빈도에 따른 위치 확률 학습 과정에서 기댓값이 미치는 영향을 알아보았다. 본 실험의 1A는 기존 Won 과 Leber(2016)의 설계를 차용하여 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습 효과를 반복 검증하였으며, 실험 1B는 모든 사분면에서의 기댓값이 통제된 시각탐색 상황에서 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습 효과를 확인하였다. 실험 1A(보상값 통제)는 특정 사분면에 표적이 많이 출현하며 모든 사분면에 고보상과 저보상이 동일한 확률로 출현하도록 조작하였다. 한편, 실험 1B(기댓값 통제)는 표적이 많이 출현하는 고빈도 사분면에서는 적은 보상이, 표적이 적게 출현하는 저빈도 사분면에서는 높은 보상이 많이 나타나도록 하여 전체 사분면의 기댓값이 동일하도록 통제하였다.

만약, 표적 출현 빈도에 따른 공간주의 편향에 기댓값이 영향을 미치지 않는다면 실험 1A와 실험 1B의 위치 확률 학습 효과 크기(저빈도 사분면에서의 탐색 속도 - 고빈도 사분면에서의 탐색속도)는 유의한 차이를 보이지 않을 것이다. 하지만, 기댓값이 표적 출현 빈도에 따른 공간주의 편향에 영향을 미친다면 실험 1B(기댓값 통제)에서의 위치 확률 학습 효과 크기가 실험 1A(보상값 통제)에 비해 줄어든 것이다.

방 법

참가자

수도권 소재 대학교 홈페이지를 통해 실험 1A(남성 12명, 여성 20명)에는 32명, 실험 1B(남성 7명, 여성 25명)에는 32명이 모집되어 실험에 참가하였다. 모든 참가자는 정상 혹은 교정된 정상 시력 및 정상 청력을 보고하였다. 참가자들에게 사전에 실험 수행에 따라 보상은 문화상품권 5000원 또는 10000원으로 차등 지급된다는 것을 고지하였으나, 실험이 모두 종료된 후 실제로는 모두에게 문화상품권 10000원을 지급하였다.

표본의 크기는 G*Power 3.1 프로그램을 이용하여 설정하였다(Faul et al, 2007). 비슷한 설계를 가진 Won 과 Leber(2016)의 연구와 동일한 효과 크기를 가지기 위해 전체 표본 수는 최소 6명이 요구되었다. 고빈도 사분면에 대한 역균형화와 참가자 제외 가능성을 고려하여 실험 1A와 1B 각각 총 32명의 참가자를 모집하였다. 연구 계획은 사전에 연세대학교 생명윤리심의위원회의 심의를 거쳐 승인되었으며 모든 참가자로부터 연구 참여 전에 서면 동의를 받았다.

도구 및 자극

참가자들은 암전 상태의 독립된 공간에서 실험을 진행하였으며, 턱받침을 이용하여 모니터와 참가자 사이의 간격을 57 cm로 유지하였다. 실험 소요시간은 약 40분이었다. 자극 제시 및 반응 기록에는 IBM 호환 듀얼 코어 급 개인용 컴퓨터와 24인치 3D LED 모니터(SAMSUNG MAGIC S23A700D)를 사용하였다. 모니터의 화면 주사율은 120 Hz, 해상도는 1920 X 1080으로 고정하였으며, MATLAB 및 Psychophysics Toolbox(Brainard, 1997; Pelli, 1997)를 사용하여 자극을 구현하였다. 탐색 자극들은 회색 배경(RGB: 128, 128, 128) 위에 제시되었으며, 한 개의 표적(시계 방향 혹은 시계 반대 방향으로 90° 기울어진 검정색 'T')과 15개의 방해 자극(0°, 90°, 180° 또는 270° 기울어진 검정색 'L'

들이 제시되었다. 총 16개 자극의 위치는 보이지 않는 10 x 10 그리드 내에서 무선으로 선택되었으며, 각 사분면에 네 개의 자극씩 제시되었다. 표적과 방해 자극의 방향은 매 시행 무선으로 선택되었다. 매 시행 나타나는 보상 포인트는 숫자 1 또는 20이며, 포인트는 탐지된 표적이 제시된 위치에 옳은 응답일 땐 초록색으로 틀린 응답일 땐 빨간색으로 제시되었다. 이때 옳은 시행이면서 20포인트가 제공될 때는 높은 음정의 비프음(beep), 1포인트가 제공될 때는 중간 음정의 비프음(beep), 틀린 시행에서는 버저음(buzz)의 청각적 피드백도 함께 제공되었다.

설계 및 절차

참가자들은 본 시행에 앞서 16 시행의 연습시행을 실시하였으며, 본 시행은 108 시행 씩 5구획인 540 시행의 훈련 회기와 96 시행의 검사 회기로 구성되었다. 시행이 시작되면 화면의 중앙에 500 ms 동안 고정점이 나타난 후 16개의 자극을 포함한 탐색 배열이 나타난다. 참가자들은 방해 자극인 L 가운데 표적인 T를 찾고, 표적이 기울어진 방향에 따라 각각 ‘z’키 혹은 ‘/’키를 가능한 빠르고 정확하게 누르도록 지시받았다. 자극은 참가자가 반응할 때까지 제시하였다. 반응하자마자 탐색 배열이 사라지고 200 ms 동안 표적의 위치에 포인트 값과 함께 청각적 피드백이 제시되었다. 다음으로, 누적된 총 포인트가 200 ms 동안 화면의 중앙에 나타났다 (Fig 1 참조).

훈련 회기에서 실험 1A와 1B 모두 하나의 사분면에 표적인 T가 50%의 높은 확률로 나타나도록 조작하였으며, 나머지 세 개의 사분면에서는 표적이 각각 16.67%의 낮은 확률

로 등장하도록 조작하였다. 고빈도 사분면은 참가자 별로 역균형화 되었다. 다만, 사분면 별 보상 크기의 제시 확률에서 실험 1A와 1B의 차이가 존재한다. 실험 1A(보상값 통제)는 모든 사분면에 고보상(+20포인트)과 저보상(+1포인트)을 50:50으로 동일하게 제시하여 표적이 자주 출현하는 고빈도 사분면은 5.25의 높은 기댓값을, 표적이 적게 출현하는 저빈도 사분면은 1.75의 상대적으로 작은 기댓값을 갖도록 조작하였다. 한편, 실험 1B(기댓값 통제)는 모든 사분면의 기댓값이 동일하도록 통제하기 위해 고빈도 사분면에서는 20포인트를 시행의 22.22%의 확률로, 1포인트를 시행의 77.78%의 확률로 제공하였으며, 반대로 저빈도 사분면에서는 고보상인 20포인트를 높은 확률로 제공하였다. 이로 인해, 모든 사분면의 기댓값이 각각 2.61과 2.63으로 유사하도록 통제하였다 (Fig 2 참조).

검사 회기에서는 실험 1A와 1B 모두 네 개의 사분면에 표적이 각 25%의 확률로 동일하게 출현하며, 고보상과 저보상 역시 50:50의 동일한 확률로 제시되었다. 이러한 검사 회기는 규칙이 존재하지 않을 때의 장기적인 위치 확률 학습 효과를 확인하고 실험 1A와 1B의 위치 확률 학습 효과 크기를 비교하고자 진행되었다.

탐색 과제 이후, 참가자들은 표적 출현 빈도 및 보상 크기 규칙에 대해 들었고 그들이 각각의 규칙을 알아차렸는지 확인하기 위한 24 시행의 생성 과제를 진행하였다. 생성 과제는 Won 과 Leber(2016)의 방식을 변형하여 사용하였다. 참가자들은 16개의 L로 구성된 탐색 배열을 보고 표적인 T의 역할을 할 것 같은 하나의 L을 예측하여 클릭해야 했고 해당 표적 위치에 1 또는 20의 보상 중 어떤 것이 등장할 것

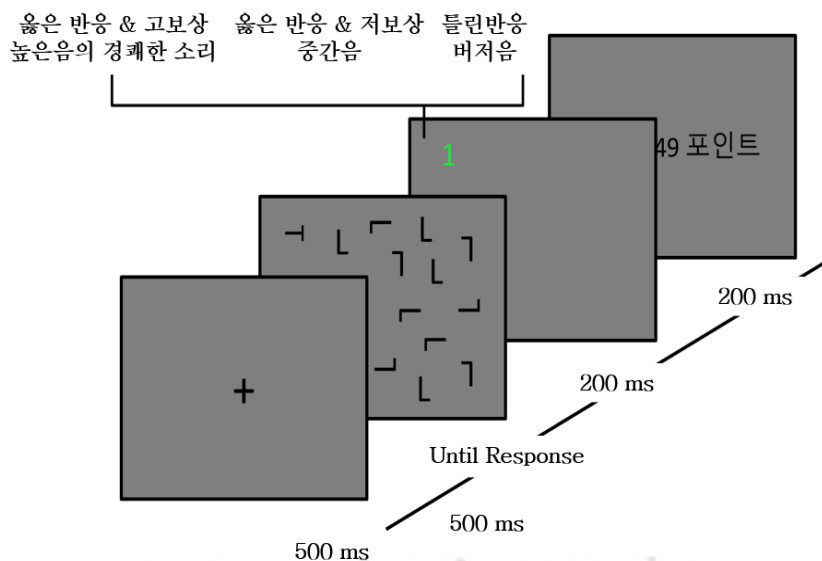


Figure 1. An Example Procedure of One Trial in Experiment 1.

실험 1A. 보상값 통제 (Won & Leber(2016))		실험 1B. 기댓값 통제	
고빈도 사분면 표적출현빈도 : 50% 20pts : 50% 1pt : 50% 기댓값 : 5.25 pts	저빈도 사분면 표적출현빈도 : 16.67% 20pts : 50% 1pt : 50% 기댓값 : 1.75 pts	고빈도 사분면 표적출현빈도 : 50% 20pts : 22.22% 1pt : 77.77% 기댓값 : 2.6108 pts	저빈도 사분면 표적출현빈도 : 16.67% 20pts : 77.77% 1pt : 22.22% 기댓값 : 2.6298pts
저빈도 사분면 표적출현빈도 : 16.67% 20pts : 50% 1pt : 50% 기댓값 : 1.75 pts	저빈도 사분면 표적출현빈도 : 16.67% 20pts : 50% 1pt : 50% 기댓값 : 1.75 pts	저빈도 사분면 표적출현빈도 : 16.67% 20pts : 77.77% 1pt : 22.22% 기댓값 : 2.6298pts	저빈도 사분면 표적출현빈도 : 16.67% 20pts : 77.77% 1pt : 22.22% 기댓값 : 2.6298pts

Figure 2. Target Frequencies, Reward Magnitudes, and Associated EVs used in Experiment 1A(left) and Experiment 1B(right).

같은지를 예측하여 클릭해야 했다. 해당 수행에 대한 피드백은 제공되지 않았다.

분석 방법

데이터는 SPSS(IBM SPSS Statistics 25) 및 JASP(Version 0.14.1; JASP Team, 2020)를 통해 분석되었다. 탐색 과제 이후에 진행된 생성 과제에서 표적 출현 빈도와 보상의 크기가 모든 사분면에서 동일한 확률로 출현하지 않는다는 것을 알아차린 참가자들을 분석에서 제외하였다. 생성 과제 24 시행 중 고빈도 사분면을 표적이 나올 것으로 선택한 비율과 무작위로 사분면을 선택할 확률인 25% 간의 오차가 1 표준 편차 이상인 경우 표적 출현 빈도에 대한 규칙성을 외현적으로 인지한 것으로 간주하였다. 또한, 실험 1A(보상값 통제)에서는 고빈도 사분면에서는 저보상인 1을, 저빈도 사분면에서는 고보상인 20을 선택한 비율과 무작위로 보상을 선택할 확률인 50% 간의 오차가 -1 표준 편차 이상 1 표준 편차 이하인 경우 보상 크기에 대한 규칙성을 외현적으로 인지한 것으로 간주하였다. 한편, 실험 1B(기댓값 통제)에서는 고빈도 사분면에서 저보상인 1을, 저빈도 사분면에서 고보상인 20을 선택한 비율과 무작위로 보상을 선택할 확률인 50% 간의 오차가 1 표준 편차 이상인 경우 보상 크기에 대한 규칙성을 외현적으로 인지한 것으로 간주하였다. 실험 1A는 표적 출현 빈도와 보상 크기에 관한 규칙성을 모두 외현적으로 인지한 4명의 참가자가 분석에서 제외되어, 총 28명의 참가자의 데이터를 분석에 사용하였다. 실험 1B는 두 가지 규

칙성을 모두 외현적으로 인지한 참가자가 없어 32명 참가자 전원의 데이터를 분석에 사용하였다. 반응 시간은 표적 자극에 대해 올바르게 반응한 시행만을 대상으로 분석되었으며, 200 ms 이하 혹은 10000 ms 이상의 속도로 보고된 반응은 제외되었다. 본 과정에서 전체 시행 대비 1.38%의 시행이 제거되었다. 표적은 사분면 별로 출현하는 확률을 달리하여 매 시행 무작위로 제시되었으며, 훈련 회기에서의 위치 점화 효과를 통제하고자 표적이 이전 시행과 동일한 사분면에 등장하는 시행 역시 제거되었다.

각 실험의 위치 확률 학습 과정을 알아보기 위해 실험 별로 훈련 회기(1-5구획)에서 사분면 유형(고빈도, 저빈도)과 구획(5)을 참가자 내 변인으로 설정하여 분석하였다. 추가로, 장기적인 위치 확률 학습 효과를 보여주는 검사 회기(6구획)에서 실험 1A(보상값 통제)와 실험 1B(기댓값 통제)를 참가자 간 변인으로, 사분면 유형(고빈도, 저빈도)은 참가자 내 변인으로 두고 두 실험의 위치 확률 학습 효과 크기를 비교하였다.

결 과

실험 1A(보상값 통제) 참가자들에 대해 수집한 반응시간, 정확률 등의 자료에 대해 변량분석을 수행하였다.

정확도

고빈도와 저빈도 사분면에서의 정확도는 각각 98.5%와

98.9%였다. 사분면 유형(2; 고빈도, 저빈도)과 회기 유형(2; 훈련, 검사)을 참가자 내 요인으로 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 진행한 결과 주효과와 상호작용 둘 다 유의하게 나타나지 않았다, $p > .05$.

반응 속도

훈련 회기에서 사분면 유형의 주효과는 유의하게 나타났다, $F(1, 27) = 76.75, p < .001, n_p^2 = .74$. 사분면 유형과 구획 간 상호작용은 유의하지 않았다, $p > .05$. 결과적으로, 고빈도 사분면에서의 표적에 대한 반응 속도가 저빈도 사분면에서의 반응 속도에 비해 유의하게 빨랐으며, 이러한 현상은 초기 훈련 회기부터 발생하였다(Fig 3a 참조). 한편, 검사 회기에서도 사분면 유형의 주효과가 유의하게 나타난 것을 통해 고빈도 위치로의 공간주의 편향이 장기적으로 유지되고 있음을 확인하였다, $F(1, 27) = 32.36, p < .001, n_p^2 = .55$.

실험 1B(기댓값 통제) 참가자들에 대해 수집한 반응시간, 정확률 등의 자료에 대해 변량분석을 수행하였다.

정확도

고빈도와 저빈도 사분면에서의 정확도는 각각 98.6%와 98.7%였다. 실험 1A와 동일하게 사분면 유형과 회기 유형의 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 진행한 결과 주효과와 상호작용 둘 다 유의하게 나타나지 않았다, $p > .05$.

반응 속도

실험 1A와 동일하게 훈련 회기에서 사분면 유형의 주효과는

유의하게 나타났으며, $F(1, 31) = 105.14, p < .001, n_p^2 = .77$, 사분면 유형과 구획 간 상호작용은 유의하지 않았다, $p > .05$. 즉, 기댓값을 통제한 위치 확률 학습 상황에서도 기댓값을 통제하지 않은 상황과 동일하게 초기 훈련 회기부터 고빈도 사분면에서의 반응 속도가 저빈도 사분면에 비해 더 빨랐다. 또한, 검사 회기에서도 사분면 유형의 주효과가 유의하게 나타난 것을 통해 고빈도 위치로의 공간주의 편향이 장기적으로 유지되고 있음을 확인하였다, $F(1, 31) = 9.02, p < .01, n_p^2 = .23$ (Fig 3b 참조).

추가로, 장기적 학습 효과를 확인할 수 있는 검사 회기의 결과를 가지고 두 실험 간 비교를 진행하였다. 실험(1A, 1B)을 참가자 간 변인으로, 사분면 유형(고빈도, 저빈도)을 참가자 내 변인으로 사용한 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 실시한 결과 사분면 유형의 주효과는 유의하게 나타났으며, $F(1, 58) = 33.35, p < .001, n_p^2 = .36$, 이원 상호작용 결과는 유의하지 않았다, $p > .05$. 다만, 고빈도 사분면에서의 반응 속도에서 저빈도 사분면에서의 반응 속도를 뺀 위치 확률 학습 효과가 실험 1A(보상값 통제)에 비해 실험 1B(기댓값 통제)에서 수치상 줄어드는 경향만을 보였다(Fig 4).

논 의

실험 1의 연구 결과를 통해 기댓값의 통제 여부와 상관없이 위치 확률 학습에서 표적 출현 빈도 정보의 영향력이 강력하다는 결과를 확인하였다. 이는 표적이 빈번하게 출현하는 고빈도 위치로의 공간주의 편향을 보여준 기존의 연구 결과와 일치하는 결과이다.

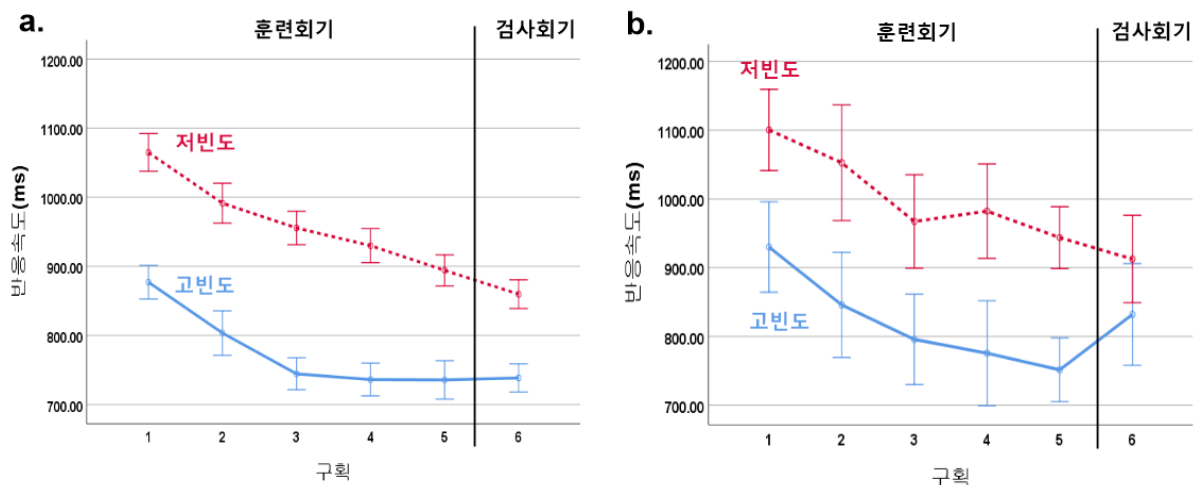


Figure 3. Results from Experiment 1A(left) and 1B(right), showing RT as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Error Bars show 1 SE of the Mean.

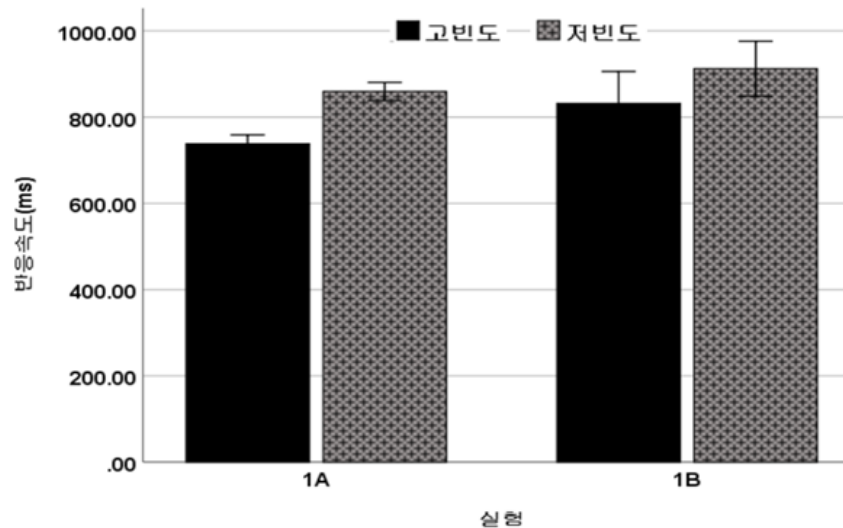


Figure 4. Results from Experiment 1, comparing RT as a Function of Quadrant Type, across Experiments. Error Bars show 1 *SE* of the Mean.

구체적으로, 실험 1A(보상값 통제)에서는 기댓값을 통제하지 않은 채로 표적 출현 빈도에 따른 위치 확률 학습 효과를 확인한 기존의 연구 결과를 반복 재현하였다. 표적이 빈번하게 출현하는 고빈도 위치에서 저빈도 위치에서보다 반응 속도가 유의하게 빠른 것을 통해 표적 출현 빈도가 높을수록 탐색 효율성이 높다는 것을 밝혔다. 실험 1B(기댓값 통제)에서는 각 사분면에서 획득하는 기댓값을 동일하게 통제된 위치 확률 학습 상황에서 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향을 확인해보았다. 그 결과, 실험 1A와 동일하게 여전히 표적이 빈번하게 출현하는 위치에서의 반응 속도가 빠른 것을 확인하였다. 이는 기댓값이 통제된 상황에서도 공간주의 편향을 유도하는데 표적 출현 빈도 정보가 강력하게 작용한다는 것을 의미한다.

실험 1은 기존의 패러다임에 전체 사분면에서 획득하는 기댓값을 통제하는 설계를 추가함으로써 위치 확률 학습 상황에서 빈도 정보의 순수한 영향력을 확인해볼 수 있다는 점에서 의의가 있다. 또한, 기댓값의 영향력이 미미하게 나타난 실험 1의 결과에 대해서는 크게 두 가지 대안적 해석이 가능하다.

첫 번째로, 하나의 위치에서 두 가지 정보를 모두 학습하는 경우 상대적으로 학습의 정도가 약한 정보의 영향력은 미미했을 수 있다. Won과 Leber(2016)는 보상 크기에 대한 위치 확률 학습이 발생하지 않은 것에 대해, 보상 크기에 대한 학습이 표적 출현 빈도에 의한 학습에 비해 학습 강도가 약하다고 해석하고 있다. 실험 1B는 기댓값을 통제하기 위해 하나의 사분면에서 보상 크기와 표적 출현 빈도에 의한 확률 정보를 모두 조작하였으며, 이때 상대적으로 학습 강도가 약

한 보상 크기 정보는 위치 확률 학습에 미치는 영향이 미미했을 수 있다.

두 번째로, 상황 자체가 표적을 탐지하는 과제이기 때문에 보상 크기 정보와 표적 출현 빈도 정보의 학습에 대한 이득이 동등하지 않았을 수 있다. 표적 출현 빈도에 대한 학습은 표적을 찾는 과제에서 매 시행 큰 이득을 가지게 되며 과제에서 중요한 단서로 활용했을 수 있다. 반면 보상 크기에 대한 학습은 매 시행 보상의 크기가 이득을 가져오지 않기 때문에 보상 크기 정보는 과제에서 중요한 단서로 작용하지 않았을 가능성이 존재한다. Frober과 Dreisbach(2021)에 따르면 보상 단서를 미리 제공하여 보상이 예측 가능해지는 경우 시행 별 제시되는 보상 정보를 이용해 과제를 수행한다는 것을 검증하였다. 따라서, 표적을 탐지하는 과제를 진행하기 이전에 보상 크기를 직접적으로 제시하여 보상이 예측 가능해지는 경우에도 기댓값에 상관없이 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향이 강력하게 나타날 것인가에 대해 고찰해 볼 필요가 있다.

실험 2

실험 2에서는 보상 크기에 대한 예측력을 높인 시각탐색 상황에서 기댓값이 표적 출현 빈도에 따른 위치 확률 학습 과정에 미치는 영향을 알아보았다. 실험 1과 거의 동일한 절차로 실험을 진행하였다. 다만, 보상 크기에 대한 예측 가능성을 높여 보상을 과제의 직접적 단서로 활용하도록 조작하기 위해 해당 시행에서 획득하게 될 보상 크기를 탐색 배열이 등장하기 이전에 제시한다는 점에서만 차이를 보인다. 실험

1과 마찬가지로 보상값 만을 통제된 실험 2A와 기댓값을 통제된 실험 2B 간의 반응 속도에 대한 비교를 진행하였다. 이를 통해, 탐색 과제에서 보상 크기에 대한 사전 단서를 제공함으로써 보상에 대한 예측 가능성을 높인 상황에서도 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습이 강력하게 나타날지를 확인해보았다. 만약, 보상 크기에 대한 예측력이 높아진 상황에서는 기댓값이 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습에 영향을 미친다면 위치 확률 학습 효과가 실험 2A(보상값 통제)에 비해 실험 2B(기댓값 통제)에서 감소할 것이다. 하지만, 보상 크기에 대한 예측력이 높아진 상황에서도 기댓값의 통제 여부와 상관없이 표적 출현 빈도에 따른 공간주의 편향이 강력하게 나타난다면 실험 2A와 실험 2B의 위치 확률 학습 효과 크기는 유의한 차이를 보이지 않을 것이다.

방 법

참가자

연세대학교 및 이화여자대학교 홈페이지 게시판을 통해 실험 2A(남성 3명, 여성 13명)에 16명, 실험 2B(남성 3명, 여성 13명)에 16명의 실험 참가자를 모집하였다. 참가자 모집 조건 및 참가 사례는 실험 1과 동일했다.

도구 및 자극

실험 자극 구현 및 제시, 반응 기록 수집에 사용되는 도구는 모두 실험 1과 동일하게 사용하였다. 실험 1과 달리 실험 2에서는 자극이 제시되기 이전에 표적을 빠르고 정확하게 탐색한 경우 지급될 보상 크기를 단서로 제시하였다. 보상 크기에 대한 단서는 맑은 고딕 폰트로 구성된 하얀색 문구로 '1' 또는 '20'이 고정점 위에 나타났다. 고보상인 20이 예고될 때에는 높은 주파수의 음이, 저보상인 1이 예고될 때에는

낮은 주파수의 음이 함께 제시되었다.

설계 및 절차

총 16 시행의 연습시행이 실시되었고, 이어서 진행되는 본 시행은 108 시행 씩 5구획인 540 시행의 훈련 회기와 104 시행의 검사 회기로 구성되었다. 각 시행은 실험 1과 동일하게 과제를 진행하였다. 표적 출현 빈도 및 사분면 별 보상 크기 제시 확률 역시 실험 2A(보상값 통제)는 실험 1A와, 실험 2B(기댓값 통제)는 실험 1B와 동일하게 설계되었다. 탐색 배열이 제시되기 이전에 해당 시행에서 획득하게 될 보상은 고정점 위에 500 ms 동안 흰색 글씨로 제공하였다. 보상 크기를 과제 이전에 예고함으로써, 보상 크기의 예측 가능성을 높여 참가자가 탐색 과제에서 보상 크기 정보를 활용할 수 있도록 하였다. 참가자가 옳은 반응을 한 경우에는 사전에 예고한 금액을 합산한 최종 누적 금액을, 옳지 못한 반응을 하였을 경우에는 버저음(buzz)과 함께 사전에 예고한 금액이 합산되지 않은 최종 누적 금액을 고정점 위에 200 ms 동안 제시하였다. 탐색 과제 이후, 참가자들은 표적 출현 빈도 및 보상 크기 규칙에 대해 들었고 그들이 각각의 규칙을 알아차렸는지 확인하기 위한 24 시행의 생성 과제를 진행하였다. 생성 과제의 절차는 실험 1과 동일하게 진행되었다. 실험 2의 실험 절차 예시는 Fig 5에 제시되어 있다.

분석 방법

데이터는 SPSS(IBM SPSS Statistics 25) 및 JASP(Version 0.14.1; JASP Team, 2020)를 통해 분석되었다. 실험 1과 동일한 기준을 적용하여 탐색 과제 이후에 진행된 생성 과제에서 표적 출현 빈도와 보상 크기에 대한 규칙성을 모두 외현적으로 인지한 참가자는 분석에서 제외하였다. 실험 2A는 두 가지 규칙성에 대해 모두 외현적으로 인지한 참가자가 없

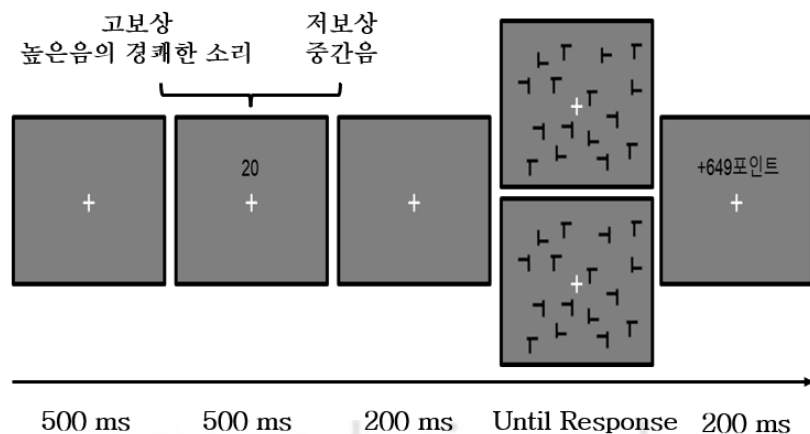


Figure 5. An Example Procedure of One Trial in Experiment 2.

어 전체 참가자의 데이터를 분석에서 사용하였으며, 실험 2B의 1명의 참가자는 분석에서 제외되었다. 즉, 실험 2A의 참가자 16명, 실험 2B의 참가자 15명의 데이터를 분석에 사용하였다. 반응 시간은 표적 자극에 대해 올바르게 반응한 시행만을 대상으로 분석하였으며, 200 ms 이하 혹은 10000 ms 이상의 속도로 보고된 반응은 제외하였다. 본 과정에서 전체 시행 대비 2.07%의 시행이 제거되었다. 표적은 사분면 별로 출현하는 확률을 달리하여 매 시행 무작위로 제시되었으며, 훈련 회기에서의 위치 점화 효과를 통제하고자 표적이 이전 시행과 동일한 사분면에 등장하는 시행 역시 제거되었다.

그 외 위치 확률 학습 과정 분석은 실험 1과 동일하게 실험 별로 훈련 회기(1-5구획)에서 사분면 유형(2; 고빈도, 저빈도)과 구획(5)을 참가자 내 변인으로 설정하여 분석하였다. 추가로, 장기적인 위치 확률 학습 효과를 보여주는 검사 회기(6구획)에서 실험 2A(보상값 통제)와 실험 2B(기댓값 통제)를 참가자 간 변인으로, 사분면 유형은 참가자 내 변인으로 두고 두 실험에서의 위치 확률 학습 효과 크기를 비교하였다.

결 과

실험 2A(보상값 통제) 참가자들에 대해 수집한 반응시간, 정확률 등의 자료에 대해 변량분석을 수행하였다.

정확도

고빈도와 저빈도 사분면에서의 정확도는 각각 98.9%와

98.6%였다. 사분면 유형(2; 고빈도, 저빈도)과 회기 유형(2; 훈련, 검사)을 참가자 내 요인으로 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 진행한 결과 주효과와 상호작용 둘 다 유의하게 나타나지 않았다, $p > .05$.

반응 속도

훈련 회기에서 사분면 유형의 주효과는 유의하게 나타났다, $F(1, 15) = 36.92, p < .001, n_p^2 = .71$. 또한, 사분면 유형과 구획 간 상호작용 역시 유의했다, $F(4, 60) = 4.09, p < .01, n_p^2 = .21$. 결과적으로, 고빈도 사분면에서의 표적에 대한 반응 속도가 저빈도 사분면에서의 반응 속도에 비해 유의하게 빨랐으며, 이러한 위치 확률 학습 효과는 구획이 거듭됨에 따라 커지는 것을 확인하였다(Fig 6a 참조). 한편, 검사 회기에서도 사분면 유형의 주효과가 유의하게 나타난 것을 통해 고빈도 위치로의 공간주의 편향이 장기적으로 유지되고 있음을 확인하였다, $F(1, 15) = 31.77, p < .001, n_p^2 = .68$.

실험 2B(기댓값 통제) 참가자들에 대해 수집한 반응시간, 정확률 등의 자료에 대해 변량분석을 수행하였다.

정확도

고빈도와 저빈도 사분면에서의 정확도는 각각 99.2%와 98.3%였다. 사분면 유형과 회기 유형의 2 X 2 반복 측정 분산 분석 결과 주효과와 상호작용 둘 다 유의하게 나타나지 않았다, $p > .05$.

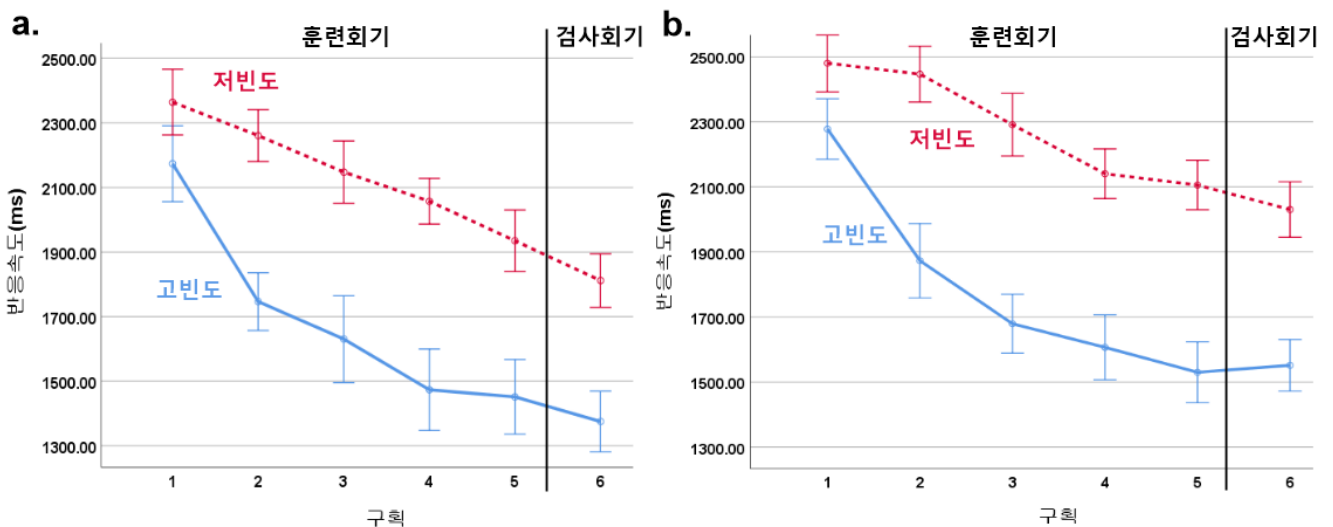


Figure 6. Results from Experiment 2A(left) and 2B(right), showing RT as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Error bars show 1 SE of the Mean.

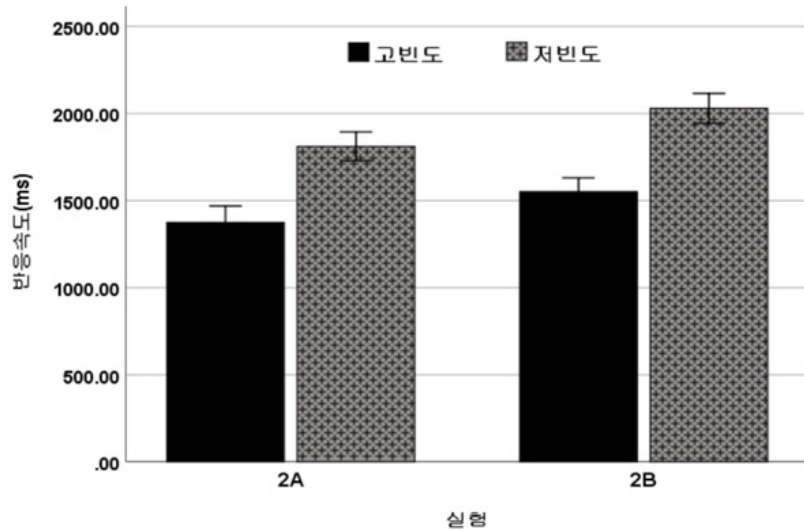


Figure 7. Results from Experiment 2, comparing RT as a Function of Quadrant Type, across Experiments. Error Bars show 1 SE of the Mean.

반응 속도

훈련 회기에서 사분면 유형의 주효과는 유의하게 나타났으며, $F(1, 14) = 38.87, p < .001, \eta_p^2 = .74$, 사분면 유형과 구획 간 상호작용 역시 유의했다, $F(4, 56) = 5.13, p = .001, \eta_p^2 = .27$. 즉, 실험 1B와 동일하게 기댓값을 통제된 상황에서도 고빈도 사분면에서의 반응 속도가 저빈도 사분면에 비해 더 빨랐으며, 구획이 거듭됨에 따라 그 효과가 커졌다. 한편, 검사 회기에서도 사분면 유형의 주효과는 유의하게 나타났으며, $F(1, 14) = 22.32, p < .001, \eta_p^2 = .62$. 이를 통해, 고빈도 위치로의 공간주의 편향이 장기적으로 유지되고 있음을 확인하였다(Fig 6b 참조).

실험 1과 동일하게 실험을 참가자 간 변인으로, 사분면 유형을 참가자 내 변인으로 사용한 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 실시한 결과, 사분면 유형의 주효과는 유의하게 나타났으며, $F(1, 29) = 76.48, p < .001, \eta_p^2 = .73$, 이원 상호작용 결과는 유의하지 않았다, $p > .05$ (Fig 7 참조).

논 의

실험 2의 연구 결과를 통해 보상 크기의 예측력을 높인 상황에서도 여전히 표적 출현 빈도 정보가 위치 확률 학습에 강력한 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 보상값만을 통제된 실험 2A와 기댓값을 통제된 실험 2B 모두 유사한 수준으로 표적이 빈번하게 출현하는 고빈도 위치에서의 반응 속도가 유의하게 빨라졌다. 결과적으로, 실험 1과 마찬가지로 실험 2에서도 기댓값은 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편

향에 유의한 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다.

이러한 결과가 나온 이유를 크게 두 가지로 해석해볼 수 있다. 첫 번째로, 보상 크기의 예측 가능성이 표적 출현 빈도의 학습 이득만큼 보상 크기의 학습 이득을 높이는 것에 영향을 미치지 못했을 수 있다. 즉, 단순히 보상의 크기를 과제 이전에 제시하는 것만으로는 보상 크기에 대한 학습 이득을 높이고, 보상 크기를 탐색 과제에서의 단서로 사용하기에 부족한 조작일 수 있다. 앞선 연구에서 사용된 단일 표적 탐색 과제에서는 매 시행 보상의 크기와 상관없이 표적을 빠르고 정확하게 탐지해내는 것이 효율적이다. 이 때문에, 보상의 예측 가능성과 상관없이 표적 출현 빈도가 계속해서 강력한 탐색 이득을 가지게 되는 것이다. 한편, 다중표적 탐지 과제를 사용하여 보상 크기와 위치 간 암묵적 연합 학습을 보여준 연구들(Chelazzi et al, 2014; Lucas et al, 2013)에서는 공간적 우선순위 지도를 활용해 주의 경쟁 상황에서 보상 크기 정보가 가진 이점에 대해 설명하고 있다. 이에, 보상 크기 정보가 탐색 과제에 이득이 되는 상황인 다중표적 탐지 과제에서도 표적 출현 빈도에 따른 공간주의 편향이 계속해서 강력하게 나타날 것인지 확인해 볼 필요성이 있다.

두 번째로, 표적 출현 빈도와 달리 보상 크기 정보는 위치와의 연합 학습이 불가능한 것일 수도 있다. 기댓값을 통제된 설계를 추가한 일련의 실험들을 통해 표적 출현 빈도 정보와 위치 간 연합 학습에 대해서는 반복해서 검증하였으나, 여전히 위치와 보상 크기 간 연합 학습 가능성에 대해 논의하기엔 한계가 존재한다. 이에, 추가적으로 다양한 상황에서 보상 크기 정보와 위치 간 연합 학습 가능성 또한 고찰해 볼 필요가 있다.

실험 3

실험 3은 주의를 경쟁하는 상황인 다중표적 탐지 과제에서 보상 크기 정보와 위치 간 연합 학습 가능성을 확인하고, 표적 출현 빈도에 따른 위치 확률 학습에 기댓값이 미치는 영향력을 확인하고자 진행하였다. 실험 1과 유사한 위치 확률 학습 패러다임 및 설계를 따르되, 다중표적을 제시하고 먼저 탐지하는 표적에만 반응하도록 지시함으로써 다중표적들 간의 경쟁 상황을 유발하였다. 이를 통해, 보상 크기 정보를 선택적 표적 탐지 과제의 단서로 활용할 수 있도록 조작하였다. 실험 3A는 실험 1의 결과를 다중표적 탐지 과제에서 반복 검증하였고, 실험 3B는 다중표적 탐지 과제에서 보상 크기 정보와 위치 간 연합 학습 가능성을 확인하였다. 마지막으로, 실험 3C는 다중표적 탐지 과제에서도 기댓값의 통제 여부와 상관없이 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향이 강력하게 나타날 것인지를 알아보았다.

구체적으로, 실험 3A(보상값 통제)는 실험 1A와 유사하게 특정 사분면에 표적이 빈번하게 출현하며 모든 사분면에 높은 보상과 낮은 보상이 동일한 확률로 나타나도록 조작하였다. 실험 3B(빈도 통제)는 보상 크기 정보와 위치 간 연합 학습 가능성을 확인하고자 실험 1에서 추가된 조건으로, 특정 사분면에 높은 보상이 빈번하게 출현하며 모든 사분면에 표적이 동일한 확률로 나타나도록 조작하였다. 실험 3C(기댓값 통제)는 실험 1B와 유사하게 표적이 자주 출현하는 사분면에는 저보상이, 표적이 적게 출현하는 사분면에는 고보상이 자주 등장하도록 하여 모든 사분면에서 획득하는 기댓값은 동일하도록 통제하였다. 만약, 실험 1과 2와 달리 다중표적 탐지 상황에서는 기댓값이 표적 출현 빈도에 따른 공간주의 편향에 영향을 미친다면, 실험 3C(기댓값 통제)에서 나타나는 고빈도 사분면으로의 공간주의 편향의 크기가 실험

3A(보상값 통제)에 비해 줄어들 것이다. 추가로 다중표적 탐지 과제에서는 표적 출현 빈도와 유사하게 보상 크기 정보와 위치 간 연합 학습도 가능하다면, 실험 3A(보상값 통제)와 실험 3B(빈도 통제)의 사분면 유형 간 반응 속도 패턴이 유사할 것이다.

방 법

참가자

연세대학교 및 이화여자대학교 홈페이지 게시판을 통해 실험 3A(남성 4명, 여성 12명), 실험 3B(남성 4명, 여성 12명), 실험 3C(남성 5명, 여성 11명)에 각각 16명의 실험 참가자를 모집하였다. 참가자 모집 조건 및 참가 사례는 실험 1과 동일했다.

도구 및 자극

실험 자극 구현 및 제시, 반응 기록 수집에 사용되는 도구는 모두 실험 1과 동일하게 사용하였다. 실험 1과 달리 실험 3에서 표적의 종류는 총 네 가지(0°, 90°, 180° 또는 270° 기울어진 검정색 ‘T’)이며, 배열은 매 시행 무선으로 선택된 두 개의 표적과 14개의 방해 자극(0°, 90°, 180° 또는 270° 기울어진 검정색 ‘L’)들로 구성되었다. 탐색 시 표적은 네 개의 사분면 중 무선으로 선택된 서로 다른 두 개의 사분면에 각각 하나씩 제시되도록 조작하였으며, 반응키는 표적의 종류에 따라 상, 하, 좌, 우의 방향키를 할당하였다.

설계 및 절차

총 16 시행의 연습시행을 진행하였으며, 이 중 8 시행의 연습시행은 두 개의 표적이 같은 종류로 나타나도록 하여 상, 하, 좌, 우에 대해 각각 2 시행 씩 동일하게 연습할 수 있도록

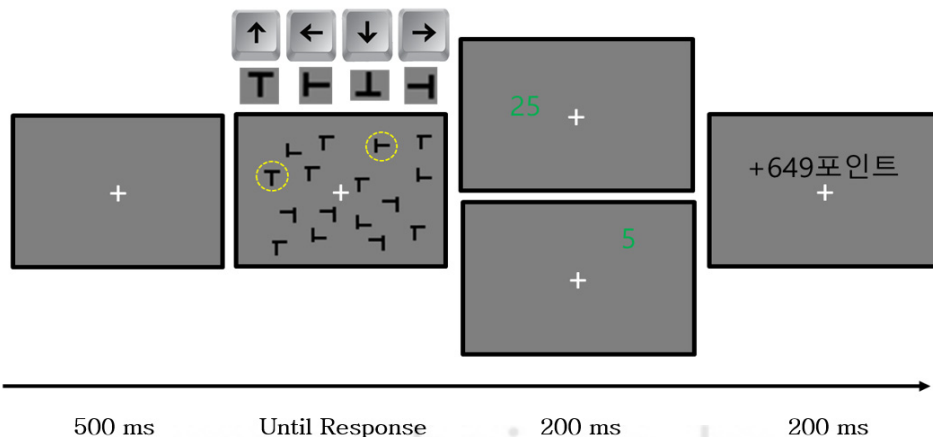


Figure 8. An Example Procedure of One Trial in Experiment 3.

록 하였다. 이를 통해, 특정 방향에 대한 선호가 탐색 과제에 미치는 혼입 효과를 통제하고자 하였다. 이어서 진행된 본 시행에서 훈련 회기는 60 시행 씩 8구획으로 총 480 시행을 진행하였으며, 검사 회기는 60 시행 씩 2구획으로 총 120 시행을 진행하였다. 실험 절차는 실험 1과 동일하게 진행되었으나, 과제 시 참가자들은 여러 개의 표적 중 가장 먼저 발견한 표적에 할당된 방향키를 가능한 빠르고 정확하게 누르도록 지시받는 것에서 차이가 있었다. 실험 3의 실험 절차 예시는 Fig 8에 제시되어 있다.

실험 3A(보상값 통제)의 훈련 회기에서는 하나의 사분면에 표적인 T가 80%의 높은 확률로 나타나며, 나머지 세 개의 사분면에서는 표적이 각각 40%의 낮은 확률로 등장하도록 조작하였다. 또한, 모든 사분면에 고보상(+25포인트)과 저보상(+5포인트)이 50 : 50의 동일한 확률로 등장하도록 통제하여 표적이 자주 출현하는 고빈도 사분면은 12의 높은 기댓값을, 표적이 적게 출현하는 저빈도 사분면은 6의 상대적으로 작은 기댓값을 갖도록 하였다. 실험 3B(빈도 통제)의 훈련 회기에서는 표적인 T가 모든 사분면에 50%의 동일한 확률로 출현하도록 통제하였으며, 하나의 사분면에 고보상이 75%의 높은 확률로 나타나도록 조작하였다. 이로 인해 높은 보상이 자주 등장하는 고보상 사분면은 10의 상대적으로 높은 기댓값이, 낮은 보상이 자주 등장하는 저보상 사분면은 5의 상대적으로 낮은 기댓값이 형성되었다. 즉, 실험 3A와 3B는 표적 출현 빈도와 보상 크기에 따라 특정 사분면이 다른 사분면에 비해 2배 더 높은 기댓값을 가지도록 조작되었

다. 마지막으로, 실험 3C(기댓값 통제)의 훈련 회기에서는 표적인 T가 80%의 높은 확률로 출현하는 하나의 사분면은 저보상이 75%의 높은 확률로 나타나도록 하며 T가 40%의 낮은 확률로 출현하는 나머지 사분면에서는 고보상이 75%의 높은 확률로 등장하도록 하였다. 이를 통해, 전체 사분면의 기댓값을 8로 동일하게 통제하였다. 실험 별 사분면에서의 표적 출현 빈도와 보상 크기 제시 확률 및 사분면에 할당된 기댓값은 Fig 9에 제시되어 있다.

한편, 검사 회기에서는 실험 3A, 3B, 3C 모두 네 개의 사분면에 표적이 각 25%의 동일한 확률로 나타나며, 고보상과 저보상 역시 50:50의 동일한 확률로 제시되었다. 이러한 검사 회기는 더 이상 규칙이 존재하지 않을 때의 공간주의 편향을 확인하고 실험 조건에 따른 공간주의 편향의 정도를 비교하고자 진행하였다.

탐색 과제 이후, 참가자들은 표적 출현 빈도 및 보상 크기 규칙에 대해 공지 받았으며, 그들이 각각의 규칙을 알아차렸는지 확인하기 위해 24 시행의 생성 과제를 진행하였다. 생성 과제의 절차는 실험 1과 동일하게 진행되었다.

분석 방법

데이터는 SPSS(IBM SPSS Statistics 25) 및 JASP(Version 0.14.1; JASP Team, 2020)를 통해 분석되었다. 실험 1과 동일한 기준을 적용하여 탐색 과제 이후에 진행된 생성 과제 결과를 분석하였다. 이러한 과정에서 사분면 별 표적 출현 빈도와 보상 크기 제시 확률에 관한 모든 규칙성을 외현적으

실험 3A. 보상값 통제 (Won & Leber(2016))		실험 3B. 빈도 통제		실험 3C. 기댓값 통제	
고빈도 사분면	저빈도 사분면	고보상 사분면	저보상 사분면	고빈도-저보상 사분면	저빈도-고보상 사분면
표적출현빈도 : 80%	표적출현빈도 : 40%	표적출현빈도 : 50%	표적출현빈도 : 50%	표적출현빈도 : 80%	표적출현빈도 : 40%
25pts : 50%	25pts : 50%	25pts : 75%	25pts : 25%	25pts : 25%	25pts : 75%
5pts : 50%	5pts : 50%	5pts : 25%	5pts : 75%	5pts : 75%	5pts : 25%
기댓값 : 12 pts	기댓값 : 6 pts	기댓값 : 10 pts	기댓값 : 5 pts	기댓값 : 8 pts	기댓값 : 8 pts
저빈도 사분면	저빈도 사분면	저보상 사분면	저보상 사분면	저빈도-고보상 사분면	저빈도-고보상 사분면
표적출현빈도 : 40%	표적출현빈도 : 40%	표적출현빈도 : 50%	표적출현빈도 : 50%	표적출현빈도 : 40%	표적출현빈도 : 40%
25pts : 50%	25pts : 50%	25pts : 25%	25pts : 25%	25pts : 75%	20pts : 75%
5pts : 50%	5pts : 50%	5pts : 75%	5pts : 75%	5pts : 25%	5pts : 25%
기댓값 : 6 pts	기댓값 : 6 pts	기댓값 : 5 pts	기댓값 : 5 pts	기댓값 : 8 pts	기댓값 : 8 pts

Figure 9. Target Frequencies, Reward Magnitudes, and Associated EVs used in Experiment 3A(left), Experiment 3B(center) and Experiment 3C(right).

결 과

로 인지한 참가자 및 정확률이 75% 미만인 참가자를 분석에서 제외하였다. 실험 3A는 두 가지 규칙성에 대해 모두 외현적으로 인지한 참가자 2명이, 실험 3B는 1명의 참가자가 분석에서 제외되었다. 실험 3C는 정확률이 75% 미만인 참가자 1명이 분석에서 제외되었다. 즉, 실험 3A의 참가자 14명, 실험 3B의 참가자 15명, 실험 3C의 참가자 15명의 데이터를 분석에 사용하였다. 반응 시간은 표적 자극에 대해 올바르게 반응한 시행만을 대상으로 분석하였으며, 200 ms 이하 혹은 10000 ms 이상의 속도로 보고된 반응은 제외하였다. 표적은 사분면 별로 출현하는 확률을 달리하여 매 시행 무작위로 제시되었으며, 훈련 회기에서의 위치 점화 효과를 통제하고자 표적이 이전 시행과 동일한 사분면에 등장하는 시행 역시 제거되었다. 본 과정에서 전체 시행 대비 0.02%의 시행이 제거되었다.

그 외 위치 확률 학습 과정 분석은 실험 1과 동일하게 실험 별로 훈련 회기(1-8구획)에서 사분면 유형(2)과 구획(8)을 참가자 내 변인으로 설정하여 분석하였다. 추가로, 장기적인 위치 확률 학습 효과를 보여주는 검사 회기(9, 10구획)에서 실험 조건(실험 3A, 3B, 3C)을 참가자 간 변인으로, 사분면 유형(2)은 참가자 내 변인으로 두고 세 실험의 위치 확률 학습 효과 크기를 비교하였다. 추가로 단일 표적을 탐색하는 과제와 달리 다중표적 탐색 과제를 진행한 실험 3의 경우, 여러 개의 표적 중 먼저 탐지된 표적이 위치한 사분면에 대한 분석도 진행하였다.

실험 3A(보상값 통제) 참가자들에 대해 수집한 반응시간, 정확률, 사분면 별 표적 탐지 비율 등의 자료에 대해 변량분석을 수행하였다.

정확도

고빈도와 저빈도 사분면에서의 정확도는 각각 99.2%와 99%였다. 사분면 유형(2; 고빈도, 저빈도)과 회기 유형(2; 훈련, 검사)을 참가자 내 요인으로 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 진행한 결과 주효과와 상호작용 둘 다 유의하게 나타나지 않았다, $p > .05$.

반응 속도

훈련 회기에서 사분면 유형의 주효과가 유의하게 나타났으며, $F(1, 13) = 7.10, p < .05, n_p^2 = .35$, 사분면 유형과 구획의 상호작용은 유의하지 않았다, $p > .05$. 결과적으로, 고빈도 사분면에서의 표적에 대한 반응 속도가 저빈도 사분면에 비해 빠르며, 이러한 사분면 유형에 대한 학습은 초기 구획부터 발생한다는 것을 확인하였다(Fig 10a 참조). 또한, 검사 회기에서도 여전히 사분면 유형에 대한 주효과가 유의하며, $F(1, 13) = 10.16, p < .01, n_p^2 = .44$, 구획과의 상호작용은 유의하지 않았다, $p > .05$. 즉, 고빈도 위치에 대한 학습이 장기적으로 유지된다는 것을 확인하였다.

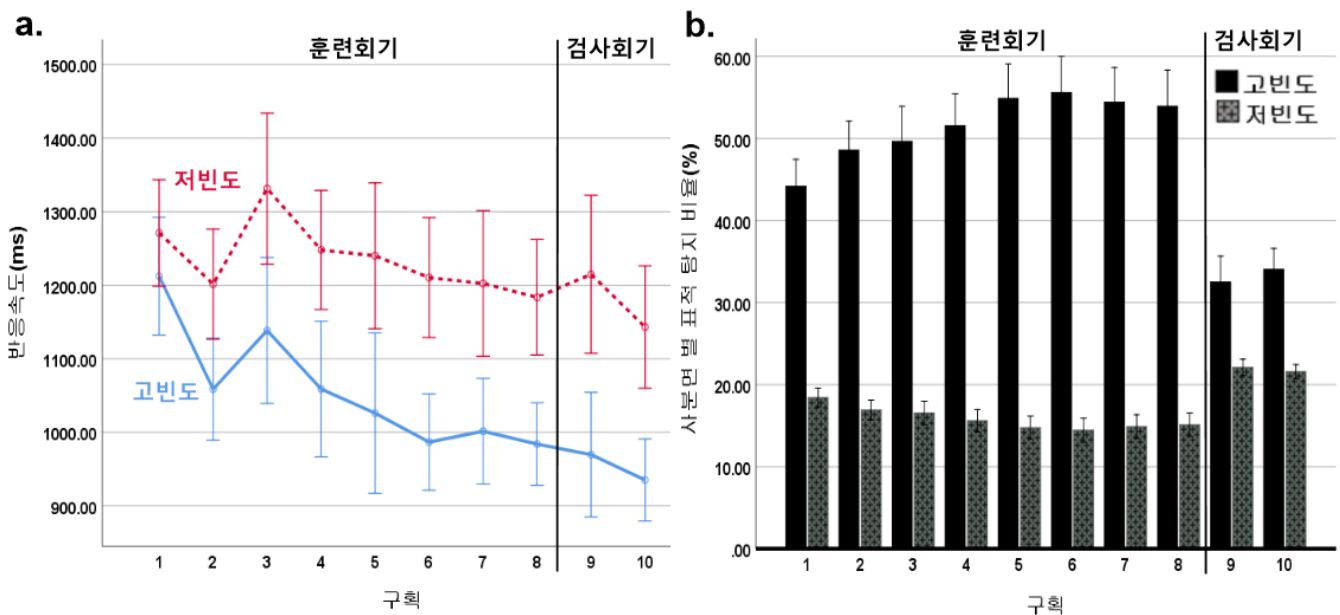


Figure 10. Results from Experiment 3A(Reward Value Control). Left : Mean RTs as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Right : Target Detection Rate as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Error Bars show 1 SE of the Mean.

사분면 별 표적 탐지 비율

훈련 회기에서 사분면 유형 별 표적 선택 비율의 주효과가 유의하게 나타났다, $F(1, 13) = 55.39, p < .001, n_p^2 = .81$. 구획과의 상호작용 역시 유의한 것으로 보아, $F(7, 91) = 3.92, p = .001, n_p^2 = .23$, 구획을 거듭하면서 저빈도 사분면에 비해 고빈도 사분면의 표적을 선택하는 비율이 증가한 것을 알 수 있다. 또한, 이러한 사분면 유형의 주효과는 검사 회기에서도 유의하게 유지된다, $F(1, 13) = 10.23, p < .05, n_p^2 = .44$ (Fig 10b 참조).

실험 3B(빈도 통제) 참가자들에 대해 수집한 반응시간, 정확률, 사분면 별 표적 탐지 비율 등의 자료에 대해 변량분석을 수행하였다.

정확도

고보상과 저보상 사분면에서의 정확도는 각각 99.1%와 99.3%였다. 사분면 유형(2; 고보상, 저보상)과 회기 유형(2; 훈련, 검사)을 참가자 내 요인으로 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 진행한 결과 주효과와 상호작용 둘 다 유의하게 나타나지 않았다, $p > .05$.

반응 속도

실험 3A와 유사하게 훈련 회기에 대한 분석을 진행한 결과, 보상값을 통제한 3A와는 달리 사분면 유형의 주효과가 유의하게 나타나지 않았다, $F(1, 14) = .42, p > .05, n_p^2 = .03$. 구획과의 상호작용도 유의하지 않았다, $F(7, 98) =$

1.71, $p > .05, n_p^2 = .11$. 즉, 구획이 거듭되며 학습이 진행되더라도 고보상 사분면과 저보상 사분면의 반응 속도는 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한, 이러한 결과는 검사 회기에도 일관되게 유지되었다, $F(1, 14) = .11, p > .05, n_p^2 = .01$ (Fig 11a 참조).

사분면 별 표적 탐지 비율

훈련 회기에서 사분면 별 선택 비율에 대한 추가 분석을 진행한 결과 사분면 유형에 대한 주효과가 유의하게 나타나지 않았다, $F(1, 14) = 1.93, p > .05, n_p^2 = .12$. 검사 회기에서도 이러한 결과는 일관되게 나타났다, $F(1, 14) = .09, p > .05, n_p^2 = .01$. 결과적으로, 고보상 사분면을 선택하는 비율이 저보상 사분면을 선택하는 비율과 유의한 차이를 보이지 않았으며, 이는 검사 회기에서도 동일하게 유지되었다 (Fig 11b 참조).

실험 3C(기댓값 통제) 참가자들에 대해 수집한 반응시간, 정확률, 사분면 별 표적 탐지 비율 등의 자료에 대해 변량분석을 수행하였다.

정확도

고빈도-저보상과 저빈도-고보상 사분면에서의 정확도는 각각 98.9%와 98.7%였다. 사분면 유형(2; 고빈도-저보상, 저빈도-고보상)과 회기 유형(2; 훈련, 검사)을 참가자 내 요인으로 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 진행한 결과 주효과와 상호작용 둘 다 유의하게 나타나지 않았다, $p > .05$.

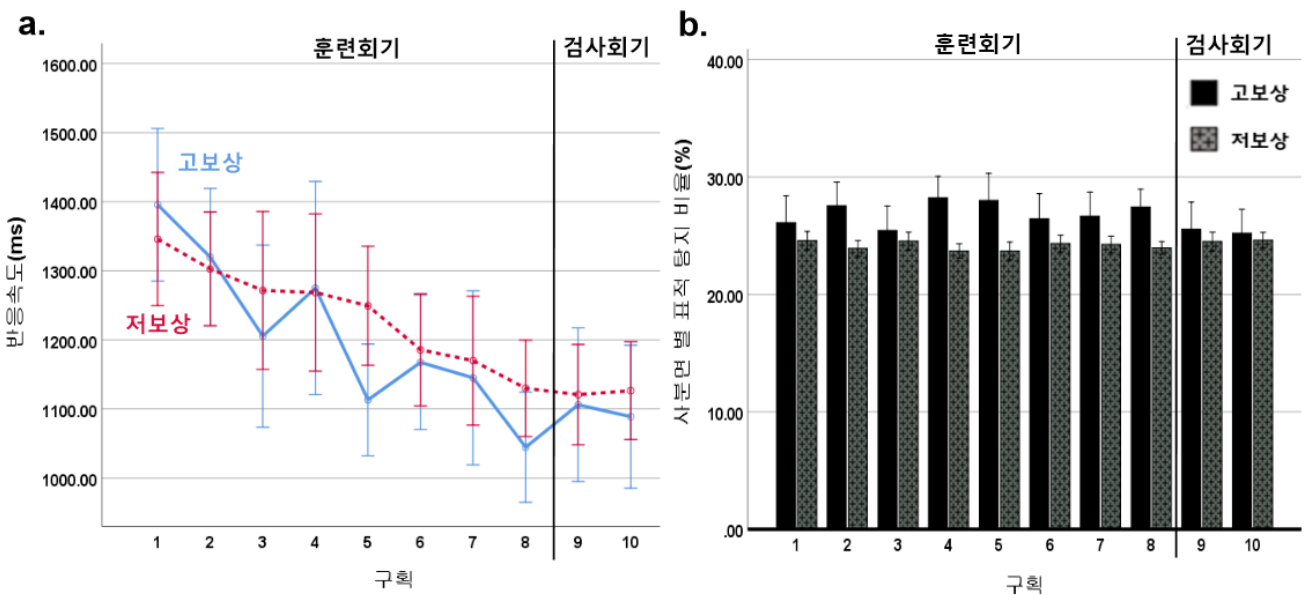


Figure 11. Results from Experiment 3B(Frequency Control). Left : Mean RTs as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Right : Target Detection Rate as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Error Bars show 1 SE of the Mean.

반응 속도

실험 3A와 동일하게 훈련 회기에서 사분면 유형에 따른 주효과가 나타났으며, $F(1, 14) = 6.28, p < .05, n_p^2 = .31$, 구획과의 상호작용은 유의하지 않았다, $p > .05$. 한편, 검사 회기에서는 사분면에 따른 주효과가 유의하지 않았다, $F(1, 14) = 2.32, p > .05, n_p^2 = .14$. 결과적으로 훈련 회기에서는 학습 초기 단계에서부터 고빈도-저보상 사분면이 저빈도-고보상 사분면에 비해 유의하게 빠른 반응 속도를 보이나, 이러한 탐색 효율성이 검사 회기까지 유지되지 않는다는 것을 확인하였다(Fig 12a 참조).

사분면 별 표적 탐지 비율

훈련 회기에서 선택한 표적이 위치하는 사분면의 비율을 분석한 결과, 사분면 유형의 주효과가 유의하게 나타나는 것을 확인하였다, $F(1, 14) = 91.03, p < .001, n_p^2 = .87$. 그러나, 이러한 효과가 검사 회기에서는 한계적인 수준에서만 유의한 결과를 보였다, $F(1, 14) = 3.70, p = .075, n_p^2 = .21$. 이러한 결과는 반응 속도 결과와 일관되게 훈련 회기에서는 고빈도-저보상 사분면을 선택하는 비율이 유의하게 높은 반면 검사 회기에서는 그 수준이 약화된다는 것을 보여주었다(Fig 12b 참조).

먼저, 표적 출현 빈도와 보상 크기에 의한 장기적인 공간주의 편향 크기를 비교하고자 분석은 실험 3A(보상값 통제)와 실험 3B(빈도 통제)의 검사 회기(9, 10 구획) 평균 반응

속도를 이용하였다. 분석에 앞서 실험 3A의 고빈도 사분면과 실험 3B의 고보상 사분면은 다른 사분면에 비해 높은 기댓값을 가지기 때문에 ‘고기댓값 사분면’으로 정의하였으며, 그 외 다른 사분면은 ‘저기댓값 사분면’이라 정의하였다. 실험(2; 3A, 3B)을 참가자 간 변인으로, 사분면 유형(2; 고기댓값, 저기댓값)을 참가자 내 변인으로 설정한 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 실시하였다. 그 결과, 사분면 유형의 주효과는 유의하게 나타났으며, $F(1, 27) = 5.71, p < .05, n_p^2 = .18$, 이원 상호작용 결과는 한계 수준에서 유의한 결과를 보였다, $F(1, 27) = 3.58, p = .069, n_p^2 = .18$. 즉, 표적 출현 빈도와 달리 보상 크기에 의한 공간주의 편향은 그 정도가 약화되거나 사라지는 경향을 보였다(Fig 13a 참조).

다음으로, 기댓값 통제 여부가 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향 크기에 장기적인 영향을 미치는지를 확인하기 위해 실험 3A(보상값 통제)와 실험 3C(기댓값 통제)의 검사 회기의 결과를 이용하였다. 실험 3A와 3C 모두 특정 사분면에서 표적이 출현하는 확률이 높기에 해당 사분면을 ‘고빈도 사분면’이라 하였으며, 나머지 사분면은 ‘저빈도 사분면’이라 정의하였다. 실험(2; 3A, 3C)을 참가자 간 변인으로, 사분면 유형(2; 고빈도, 저빈도)을 참가자 내 변인으로 사용한 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 실시한 결과, 사분면 유형의 주효과만 유의하였다, $F(1, 27) = 12.11, p < .01, n_p^2 = .31$. 즉, 실험 3A와 실험 3C 모두 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향의 크기가 유사한 수준으로 나타났다(Fig 13b 참조).

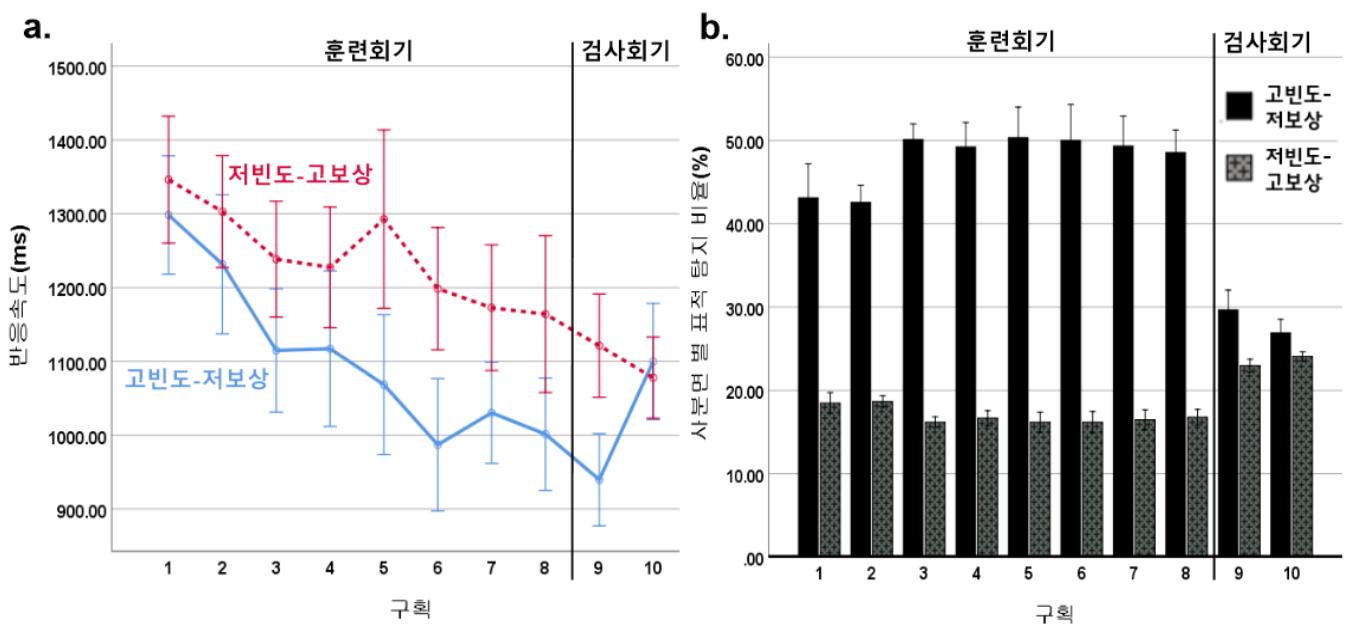


Figure 12. Results from Experiment 3C(Expected Value Control). Left : Mean RTs as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Right : Target Detection Rate as a Function of Quadrant Type, across Blocks. Error Bars show 1 SE of the Mean.

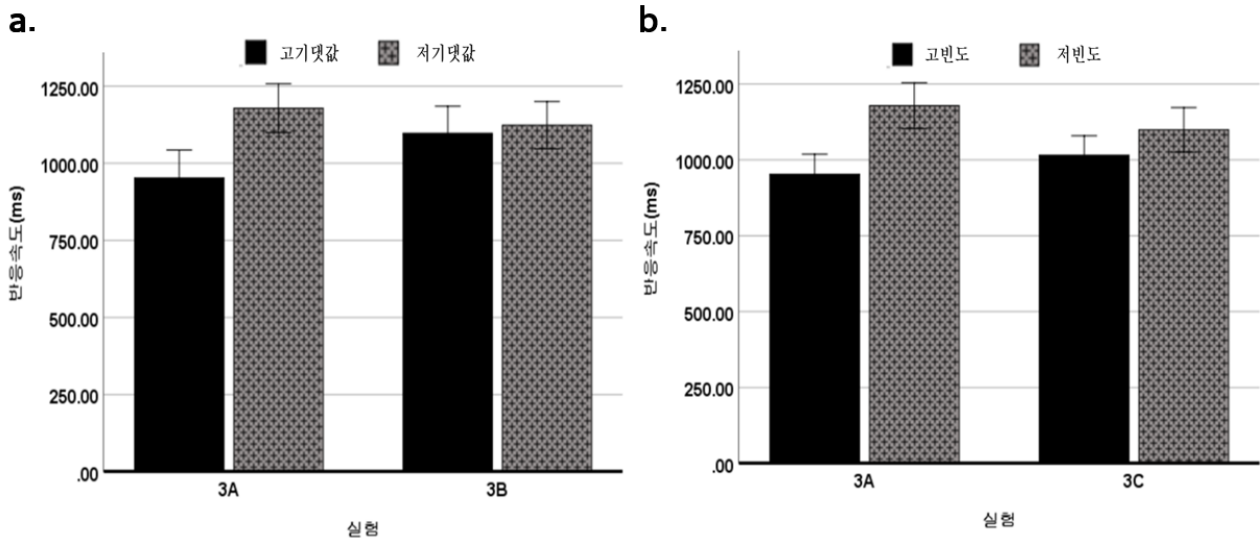


Figure 13. Left : Comparison Result from Experiment 3A and 3B. Right : Comparison Result from Experiment 3A and 3C. Mean RTs as a Function of Quadrant Type, across Experiments. Error Bars show 1 SE of the Mean.

논 의

실험 3의 연구 결과를 통해 다중표적 탐지 과제를 사용한 주의 경쟁 상황에서도 표적 출현 빈도의 영향력이 강력하다는 것을 확인하였으며, 보상 크기에 의한 위치 확률 학습은 미미하다는 것을 밝혔다. 실험 3A(보상값 통제)는 실험 1A와 마찬가지로 표적이 빈번하게 출현하는 고빈도 사분면에서 저빈도 사분면에 비해 유의하게 빠른 반응 속도를 보였으며, 구획이 거듭됨에 따라 고빈도 사분면에 나타난 표적을 선택하는 비율이 증가하는 것을 확인하였다. 이는 다중표적 탐지 상황에서도 표적 출현 빈도가 공간주의 편향에 여전히 강력한 영향을 미치고 있음을 의미한다. 실험 3B(빈도 통제)는 높은 보상이 자주 등장하는 고보상 사분면에서 저보상 사분면에 비해 유의하게 빠른 반응 속도를 보이지 못하였으며, 실험 3A(보상값 통제)와의 비교 분석을 통해 공간주의 편향의 정도가 표적 출현 빈도에 비해 유의하게 약한 것을 확인하였다. 이를 통해, 보상 크기에 의한 공간주의 편향은 미미한 수준으로 나타난다는 것을 확인하였다. 이는 선행 연구 결과들과 일치하는 결과이다. 추가로 본 연구에서는 사분면별 표적 탐지 비율을 분석하였고, 그 결과 구획이 거듭됨에 따라 고보상 사분면에 나타난 표적을 선택하는 비율이 저보상 사분면에 비해 유의하게 증가하지 않는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 선택 과제와 다중표적 탐지 과제에서 보상 크기와 위치 간 암묵적 연합 학습을 확인한 선행 연구들(Chelazzi et al, 2014; Won & Leber, 2016)과 반대되는 결과이다. 마지막으로 실험 3C(기댓값 통제)의 경우 검사 회기

에서 표적이 자주 출현하나 낮은 보상이 많이 출현하는 고빈도-저보상 사분면과 저빈도-고보상 사분면 간 반응 속도 차이가 유의하게 나타나지 않았다. 즉, 실험 3A(보상값 통제)와 3B(빈도 통제)에서 계속해서 강력하게 나타나던 표적 출현 빈도와 위치 간의 연합이 실험 3C(기댓값 통제)의 검사 회기에서 사라지는 현상을 보였다. 이러한 결과는 고전적 조건 형성에서 복합 자극(compound stimulus)을 사용한 경우 나타나는 현상으로 이해해볼 수 있다. 복합 자극을 사용한 경우 하나의 강력한 자극이 조건 자극으로 쉽게 학습되고, 상대적으로 약한 자극은 조건 자극이 되는 것을 방해받는 음영화(overshadowing) 현상이 나타날 수 있다(Kehoe, 1982). 실험 3A와 3B는 빈도와 보상 크기 중 하나를 통제된 상황에서 표적을 찾는 과제로 표적이 나타나는 빈도가 강력한 정보로 작용하여 보상 크기 정보와 위치 간 연합 학습을 방해한 것으로 해석해 볼 수 있다. 반면 실험 3C는 두 가지 정보를 모두 조작한 상황에서 표적을 찾는 과제였기 때문에 저빈도 사분면도 고보상이라는 정보를 갖게 된다. 따라서 빈도의 영향이 강력했던 훈련 회기에서는 보상 크기의 영향이 미미했으나 두 정보가 모두 통제된 검사 회기에서는 빈도의 영향이 사라진 것으로 보아 혼합 조건 형성(compound stimulus conditioning)이 발생한 것으로 해석해볼 수 있다.¹⁾ 그러나, 빈도의 영향을 확인한 실험 3A에 비해 실험 3C에서 고빈도 위치로의 공간주의 편향 크기가 유의하게 감소하지 않았음을 확인하였다. 따라서, 실험 3C 검사 회기의 결과만을 가지고 기댓값의 영향력을 검증할 수는 없으며, 기댓값을

1) 강민석 교수(성균관대학교 심리학과)의 심사평 참조.

통제된 상황에서도 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향이 여전히 강력하다는 것을 확인해볼 수 있었다.

이에, 표적 출현 빈도와 더불어 보상 크기 및 기댓값의 영향력을 검증하기 위한 추가적인 연구들이 진행될 필요가 있다. 다중표적 및 방해 자극을 단일 차원의 특징(예, 방향)으로 구성하는 것이 아닌 다중 차원의 특징(예, 방향과 색상)으로 구성함으로써 과제 난이도가 높아진 상황에서의 보상 크기 및 기댓값의 영향력을 확인해볼 수 있을 것이다. 만약 개별적인 특징에 표적 출현 빈도와 보상 크기가 각각 연합된다면, 개별적인 정보에 의한 공간주의 편향이 나타날 가능성도 존재한다.

결과적으로 실험 3에서는 다중표적 탐지 과제를 이용하여 주의가 경쟁하는 상황에서 표적 출현 빈도와 보상 크기에 의한 위치 확률 학습을 고찰해보았다. 그 결과, 실험 1과 동일하게 표적 출현 빈도는 효율적인 탐색에 영향을 미치지만, 보상의 크기와 기댓값이 효율적 탐색에 미치는 영향력이 미미하다는 것을 밝혔다. 그러나 다양한 해석과 추가 연구를 통해 여전히 위치 확률 학습에서 보상 크기 및 기댓값의 영향력을 검증해볼 필요성을 시사한다는 점에서 의의가 있다.

종합논의

본 연구는 다양한 시각탐색 상황에서 표적 출현 빈도와 보상 크기에 의한 위치 확률 학습 효과를 확인 및 비교하고자 실시되었다. 실험 1에서는 Won과 Leber(2016) 연구의 패러다임에서 모든 사분면의 기댓값을 통제된 설계를 추가하여, 기댓값이 통제된 상황에서도 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습이 강력하게 나타나는가에 대해 고찰하였다. 실험 1의 결과, 모든 사분면의 기댓값이 동일하더라도 표적이 빈번하게 출현하는 위치에서 반응 속도가 빨라지는 현상이 여전히 유지된다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습을 보다 강력히 지지하는 결과이다. 실험 2에서는 실험 1에서 확인한 표적 출현 빈도에 의한 강력한 위치 확률 학습 효과가 탐색 과제에서 보상 크기의 약한 단서 효과에 의한 것인지 알아보하고자 했다. 이를 위해, 획득할 보상 크기를 탐색 이전에 직접적으로 제시함으로써 보상의 예측력을 높여 보상 크기의 단서 효과가 증가하도록 조작하였다. 보상의 예측력이 높아진 실험 2에서도 여전히 기댓값의 통제 여부와 상관없이 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습이 강력하게 나타났다. 이를 통해, 보상 크기의 단서 효과를 증가시킨 시각탐색 과제에서도 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습은 강력한 효과임을 확인하였다. 마지막으로,

실험 3에서는 다중표적이라는 주의 경쟁 상황으로 인해 탐색에 많은 정보를 활용하도록 조작할 때 보상 크기와 표적 출현 빈도에 따른 위치 확률 학습 효과를 살펴보았다. 실험 3의 결과, 주의가 경쟁하는 다중표적 탐색 과제에서도 여전히 기댓값의 통제 여부와 관계없이 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습이 강력했으며, 보상 크기에 의한 위치 확률 학습은 그 정도가 미미함을 밝혔다.

다양한 시각탐색 상황에서 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습 효과는 일관되게 강력하게 나타난다(Don & Worthy, 2021; Jiang et al, 2015; Won & Leber, 2016). 그러나 보상 크기에 의한 공간주의 편향에 관한 연구는 계속해서 논쟁이 되어오고 있다. 일부 연구자들은 보상 크기에 의한 공간주의 편향은 매우 약한 수준에서 발생하거나 불가능하며, 반드시 의식이 필요하다고 주장한다(Mine et al, 2021; Sisk et al, 2020; Won & Leber, 2016). 한편, 또 다른 연구자들은 보상 크기와 위치 간 암묵적 연합 학습이 가능하며, 높은 보상과 연합된 위치로의 공간주의 편향을 확인하였다(Anderson & Kim, 2018; Chelazzi et al, 2014; Lucas et al, 2013; Shomstein & Johnson, 2013). 본 연구는 기댓값을 통제하고 보상 크기의 예측 가능성을 높이며 주의 경쟁 상황을 유도하는 등 표적 출현 빈도와 보상 크기 정보를 모두 조작한 다양한 시각탐색 상황에서 표적 출현 빈도에 의한 강력한 위치 확률 학습 효과를 반복 검증하였다는 점에서 의의가 있다. 또한, 동일한 시각탐색 상황에서 보상 크기는 표적 출현 빈도와 달리 공간적 주의 편향을 발생시키지 못하며, 탐색 효율성을 증진시키지 못하는 양상을 보였다. 이는 앞서 보상 크기에 의한 공간주의 편향은 그 강도가 매우 약하거나 불가능하며 반드시 의식이 필요하다고 주장하는 선행 연구들과 일치하는 결과이다. 그러나, 다중표적 탐지 과제 및 선택 과제를 실시하여 보상 크기에 의한 공간주의 편향을 확인한 선행 연구들과는 반대되는 결과이기도 하다. 이에, 이러한 선행 연구들을 토대로 표적 출현 빈도와 보상 크기에 의한 위치 확률 학습 효과에 대해 고찰하며 후속 연구를 제안하고자 한다.

먼저, 표적 출현 빈도에 의한 편향은 암묵적인 상황에서, 보상 크기에 의한 편향은 의식적인 상황에서 강력하게 유지되는 것일 수 있다. 보상 크기에 대한 규칙성 학습에는 반드시 의식적 노력이 필요하다고 주장하는 선행 연구들(Sisk et al, 2020; Mine et al, 2021)과 달리 빈도에 대한 정보는 암묵적인 수준에서 더 안정적이고 강력한 편향을 유도한다는 것을 보여주는 연구들이 존재한다. Hong과 Kim(2022)에 따르면, 표적이 빈번하게 출현하는 사분면이 변화하는 상황에

서 규칙성에 대해 외현적으로 지시하지 않은 암목적 학습 집단의 경우 최초 학습된 고빈도 사분면에 대한 공간주의 편향이 강력하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, Levari 등(2018)과 Lyu 등(2021)의 연구에 따르면 표적의 출현률이 낮아질 때 모호한 표적에 대한 의사결정이 좀 더 자유로운 방향으로 편향되는 현상인 출현률 기반 개념 변화(Prevalence-induced concept change)는 피드백이 존재하지 않는 상황에서 발생한다. 이는 표적의 출현률은 주의 편향에서 나아가 지각적 의사결정의 편향에도 영향을 미치며, 피드백과 같은 의식적 노력을 기울이지 않을 때 그러한 편향이 안정적이고 강력하게 유지된다는 것을 보여준다. 한편, 보상 크기에 대한 학습에서 의식의 필요성을 주장한 Sisk 등(2020)의 연구에서는 참가자들이 보상 크기와 관련된 규칙을 알아차렸을 때만 해당 위치로의 공간주의 편향이 발생한다. 해당 연구는 할당된 모든 구획에 표적이 하나 이상씩 등장하며, 여러 개의 표적들 중 하나를 선택해 클릭하도록 한다. 이러한 과제는 클릭과 같이 표적의 위치와 관련 있는 행위로 공간주의 편향을 확인하였으며, 학습 과정에서 표적이 어디에 나타날지에 대해 고민할 필요 없이 어떤 표적을 선택할 것인지에 대해서만 집중하도록 조작되어 있다. 반면, 본 연구는 할당된 구획 중 일부에만 표적이 등장하며 가장 먼저 탐지한 표적에 대한 방향을 변별하는 탐색 과제를 진행하였다. 본 연구에서 사용된 탐색 과제는 자동적으로 발생하는 주의 편향을 알아보는 위치 확률 학습 패러다임을 이용하여 공간주의 편향을 확인하였다는 점에서 의의를 가진다. 그러나 위치 관련 학습에 필요한 의식적 노력의 강도가 약해 암목적인 상황에서 강력한 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향만이 강력하게 나타나고, 보상 크기에 의한 공간주의 편향은 발생하지 않았을 가능성이 있다. 따라서, 추후에는 포인트가 곧 참가자가 획득하는 금전적 보상이 될 수 있도록 조작하여 학습 과정에서의 의식적 동기 수준을 증가시키는 추가 연구를 진행해볼 수 있을 것이다. 이를 통해, 의식적 동기가 높아진 상황에서는 표적 출현 빈도와 보상 크기에 의한 공간주의 편향이 어떻게 발생할 것인지 확인해볼 필요성이 있다.

두 번째로, 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향에서 참조점(reference point)의 영향력은 미미하나, 보상 크기에 의한 공간주의 편향은 참조점으로 사용할 정보가 필요할 수 있다. Jiang et al(2013)에서는 배경 사진의 제공 여부와 상관없이 일관되게 환경 중심(environment centered)의 고빈도 사분면에 대한 학습은 발생하지 않는다는 것을 확인하였다. 즉, 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습 가능성에 배경

사진과 같은 참조점의 존재는 큰 영향을 미치지 않는다고 해석해볼 수 있다. 한편, 보상 크기에 의한 공간주의 편향이 나타난 Anderson과 Kim(2018)에서는 탐색 과제의 배경 이미지로 실제 장면을 제시하여, 참가자들이 장면에 등장하는 다양한 물체들을 참조점으로 사용할 수 있게 하였다. 또한, Shomstein과 Johnson(2013)은 물체 기반 주의(object based attention) 패러다임을 이용해 보상의 공간적 주의를 확인했으며, 참가자들은 단서가 제공된 물체와 같은 물체/다른 물체라는 물체 기반 위치 설정이 가능하였다. 이러한 연구 결과들은 보상 크기에 의한 위치 확률 학습 가능성에는 참조점의 사용 여부가 중요한 영향을 미칠 수 있다는 것을 시사한다. 실제, 본 연구에 참여한 참가자들이 보고한 보상 크기 규칙 관련 내용 중 대부분은 '응시점을 기준으로 가까우면 적은 포인트, 멀면 높은 포인트가 나오는 것 같다'라는 응답이었다. 이 역시 암묵적으로 응시점이라는 참조점을 기준으로 보상 크기와 위치를 연합하고자 하는 경향이 있을 수 있음을 보여준다. 한편, 표적 출현 빈도 규칙 관련은 위/아래/왼쪽/오른쪽과 같은 전체적인 위치에 관한 응답이 대부분이었다. 즉, 표적 출현 빈도는 특정한 물체 혹은 기준이 되는 지점인 참조점에 크게 영향을 받지 않는다는 해석이 가능하다. 실제, 참조점의 제공 여부가 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향에 미치는 영향을 확인한 선행 연구는 부족하다. 또한, 참조점을 제시하여 보상과 위치 간 연합 가능성을 밝힌 선행 연구들은 여전히 높은 보상이 제공되는 위치로의 자동적 주의 편향 및 해당 위치에서의 탐색 효율성 증진에 관한 설명이 어렵다는 한계를 가진다. 따라서, 본 연구에서 실제 장면을 배경 이미지로 사용한 추가 연구를 진행한다면 표적 출현 빈도와 보상 크기에 따른 위치 확률 학습에 대해 보다 확장된 해석들을 가능하게 할 것이라 사료된다.

본 연구 결과는 보상의 의미를 확장하고 보상 기제의 결합이 있는 임상군을 이해하는 지표로 활용될 수 있다는 점에서 추가적인 의의가 있다. 본 연구에 사용된 과제는 외적으로 보이는 금전적 보상과 성공적인 표적 탐색에 따른 내적 보상을 모두 내포하고 있다. 또한, 위치 확률 학습은 암목적인 학습 과정으로 금전적 보상보다는 내적 보상을 획득하기 위한 정보에 더 강력한 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 이는 금전적 보상의 강력한 영향력을 보여준 의식적인 과제들(Cristofori et al, 2018; Zhang et al, 2018)과 대비되는 결과이며, 과제에 따라 보상의 의미를 보다 확장하여 생각해볼 필요가 있음을 시사한다. 실제, 보상 단서로의 주의 할당, 보상 기반 의사결정, 강화 학습과 같은 의식적 과제를 통해 ADHD, 조현병, 양극성 장애 등 다양한 임상군들이 정

상군에 비해 금전적 보상에 민감도가 낮고 보상 관련 정보를 인지하지 못한다는 것을 밝혀오고 있다(Metin et al, 2018; Whitton et al, 2015). 그러나 Jiang 등(2019)에 따르면, ADHD와 경도 지적 장애와 같은 임상군에서도 암묵 학습에 의한 주의 유도가 정상군과 동일하게 발생한다. 따라서, 암묵적 학습 과제를 활용한 본 연구를 보상 기제의 결합이 있는 임상군에게 진행해보는다면 정상군과 동일하게 내적 보상을 인지하고 활용하는 결과를 보일 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 결과들은 해당 임상군의 보상 기제 활성화를 위하여 의식적 보상 관련 학습보다 암묵적 보상 학습을 활용한 훈련 프로그램 개발의 필요성을 시사한다는 점에서 의의가 있다.

요약하자면, 본 연구는 다양한 시각탐색 과제에서 표적 출현 빈도에 의한 암묵적 공간주의 편향이 일관되게 발생하는 것을 밝혔으며, 보상 크기에 의한 공간주의 편향은 미미하다는 것을 확인하였다. 또한, 표적 출현 빈도와 보상 크기에 따른 위치 확률 학습을 의식적 수준과 참조점 사용 여부의 측면에서 비교해보며 후속 연구에 대한 아이디어를 제공한다. 본 연구는 암묵적 학습에서 내적 보상의 중요성을 보여주며 보상의 의미를 확장하고, 보상 기제의 결합이 있는 임상군의 보상 기제 측정 및 훈련 프로그램 개발 등에 기여할 수 있다는 점에서 실용적 함의가 있다.

References

- Anderson, B. A. (2013). A value-driven mechanism of attentional selection. *Journal of vision, 13*(3), 7-7.
- Anderson, B. A. (2015). Value-driven attentional priority is context specific. *Psychonomic Bulletin & Review, 22*(3), 750-756.
- Anderson, B. A. (2017). On the feature specificity of value-driven attention. *Plos one, 12*(5), e0177491.
- Anderson, B. A., & Kim, H. (2018). Mechanisms of value-learning in the guidance of spatial attention. *Cognition, 178*, 26-36.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011). Value-driven attentional capture. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(25), 10367-10371.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2012). Generalization of value-based attentional priority. *Visual Cognition, 20*(6), 647-658.
- Anderson, B. A., & Yantis, S. (2013). Persistence of value-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 39*(1), 6.
- Awh, E., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy. *Trends in cognitive sciences, 16*(8), 437-443.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision, 10*(4), 433-436.
<https://doi.org/10.1163/156856897X00357>
- Chelazzi, L., Eštočinová, J., Calletti, R., Gerfo, E. L., Sani, I., Della Libera, C., & Santandrea, E. (2014). Altering spatial priority maps via reward-based learning. *Journal of Neuroscience, 34*(25), 8594-8604.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive psychology, 36*(1), 28-71.
- Cristofori, I., Salvi, C., Beeman, M., & Grafman, J. (2018). The effects of expected reward on creative problem solving. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 18*(5), 925-931.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience, 18*(1), 193-222.
- Don, H. J., & Worthy, D. A. (2021). Frequency effects in action versus value learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. Advance online publication.
- Egeth, H. E., & Yantis, S. (1997). Visual attention: Control, representation, and time course. *Annual Review of Psychology, 48*(1), 269-297.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods, 39*(2), 175-191.
- Frober, K., & Dreisbach, G. (2021). How sequentially changing reward prospect modulates meta-control: Increasing reward prospect promotes cognitive flexibility. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 21*(3), 534-548.
- Failing, M., & Theeuwes, J. (2018). Selection history: How reward modulates selectivity of visual attention. *Psychonomic bulletin & review, 25*(2), 514-538.
- Hong, I., & Kim, M. -S. (2022). Habit-like attentional bias is unlike goal-driven attentional bias against spatial updating. *Cognitive research: principles and implications, 7*(1), 1-10.
- Hong, I., Jeong, S. K., & Kim, M. -S. (2020). Context affects implicit learning of spatial bias depending on task relevance.

- Attention, Perception, & Psychophysics*, 82(4), 1728-1743.
- Jiang, Y. V., Li, Z. S., & Remington, R. W. (2015). Modulation of spatial attention by goals, statistical learning, and monetary reward. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(7), 2189-2206.
- Jiang, Y. V., & Sisk, C. A. (2019). Habit-like attention. *Current opinion in psychology*, 29, 65-70.
- Jiang, Y. V., Swallow, K. M., & Capistrano, C. G. (2013). Visual search and location probability learning from variable perspectives. *Journal of Vision*, 13(6), 13-13.
- Jiang, Y. V., Sisk, C. A., & Toh, Y. N. (2019). Implicit guidance of attention in contextual cueing: Neuropsychological and developmental evidence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 105, 115-125.
- Kehoe, E. J. (1982). Overshadowing and summation in compound stimulus conditioning of the rabbit's nictitating membrane response. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 8(4), 313.
- Kim, H., & Anderson, B. A. (2021). Combined influence of valence and statistical learning on the control of attention: Evidence for independent sources of bias. *Cognition*, 208, 104554.
- Kim, M. -S., & Cave, K. R. (1999). Top-down and bottom-up attentional control: On the nature of interference from a salient distractor. *Perception & Psychophysics*, 61, 1009-1023.
- Levari, D. E., Gilbert, D. T., Wilson, T. D., Sievers, B., Amodio, D. M., & Wheatley, T. (2018). Prevalence-induced concept change in human judgment. *Science*, 360(6396), 1465-1467.
- Lyu, W., Levari, D. E., Nartker, M. S., Little, D. S., & Wolfe, J. M. (2021). Feedback moderates the effect of prevalence on perceptual decisions. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(6), 1906-1914.
- Liesefeld, H. R., & Muller, H. J. (2021). Modulations of saliency signals at two hierarchical levels of priority computation revealed by spatial statistical distractor learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(4), 710.
- Lucas, N., Schwartz, S., Leroy, R., Pavin, S., Diserens, K., & Vuilleumier, P. (2013). Gambling against neglect: Unconscious spatial biases induced by reward reinforcement in healthy people and brain-damaged patients. *Cortex*, 49, 2616-2627. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2013.06.004>
- Miller, J. (1988). Components of the location probability effect in visual search tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(3), 453.
- Metin, B., Tas, Z. C., Cebi, M., Buyukaslan, A., Soysal, A., Hatiloglu, D., & Tarhan, N. (2018). Reward processing deficits during a spatial attention task in patients with ADHD: an fMRI study. *Journal of attention disorders*, 22(7), 694-702.
- Mine, C., Yokoyama, T., & Takeda, Y. (2021). Awareness is necessary for attentional biases by location-reward association. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 1-15.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437-442.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78(5), 391-408. <https://doi.org/10.1037/h0031333>
- Shomstein, S., & Johnson, J. (2013). Shaping attention with reward: Effects of reward on space-and object-based selection. *Psychological science*, 24(12), 2369-2378.
- Sauter, M., Liesefeld, H. R., & Muller, H. J. (2019). Learning to suppress salient distractors in the target dimension: Region-based inhibition is persistent and transfers to distractors in a nontarget dimension. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 45(11), 2080.
- Sisk, C. A., Remington, R. W., & Jiang, Y. V. (2020). A spatial bias toward highly rewarded locations is associated with awareness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 46(4), 669.
- Shaw, M. L., & Shaw, P. (1977). Optimal allocation of cognitive resources to spatial locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3(2), 201-211.
- Schapiro, A., & Turk-Browne, N. (2015). Statistical learning. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, 3, 501-506.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(3), 419.
- Won, B. Y., & Leber, A. B. (2016). How do magnitude and frequency of monetary reward guide visual search?. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(5), 1221-1231.
- Whitton, A. E., Treadway, M. T., & Pizzagalli, D. A. (2015). Reward processing dysfunction in major depression, bipolar

disorder and schizophrenia. *Current opinion in psychiatry*, 28(1), 7.

Zhang, P., Hou, F., Yan, F. F., Xi, J., Lin, B. R., Zhao, J., ... & Huang, C. B. (2018). High reward enhances perceptual learning. *Journal of vision*, 18(8), 11-11.

시각탐색에서 표적 출현 빈도와 보상에 따른 위치 확률 학습

성가름¹, 김민식¹

¹연세대학교 심리학과

본 연구는 다양한 시각탐색 상황에서 표적 출현 빈도에 의한 강력한 위치 확률 학습 효과를 확인하고자 수행되었다. 실험 1에서는 기댓값의 통제 여부가 표적 출현 빈도에 의한 공간주의 편향에 미치는 영향을 확인해보았다. 표적은 항상 특정 사분면에 높은 빈도로 출현하도록 조작하며 실험 1A(보상값 통제)는 모든 사분면에 높은 보상과 낮은 보상이 동일한 확률로 출현하여 고빈도 사분면에서 기댓값이 커지도록 조작하였다. 한편, 실험 1B(기댓값 통제)는 표적이 고빈도 사분면에 출현할 때 저빈도 사분면에 출현할 때에 비해 낮은 보상을 제공함으로써 전체적인 사분면에서 획득하는 기댓값이 동일하도록 통제하였다. 실험 2에서는 보상의 예측력을 높이기 위해 탐색 배열이 제시되기 이전에 보상 단서를 제공한다는 것에서만 차이가 있으며, 실험 3에서는 다중표적 탐지 과제를 통해 탐지해야 할 표적들 간 주의 경쟁이 발생하도록 하였다. 실험 결과, 일련의 실험 모두 고빈도 사분면에서의 반응 속도가 저빈도 사분면에 비해 빨랐다. 본 결과는 기댓값이 통제되고 보상 예측력이나 주의 경쟁이 증가하는 시각탐색 상황에서 일관되게 표적 출현 빈도에 의한 위치 확률 학습이 강력하게 발생한다는 것을 시사한다.

주제어: 보상 학습, 위치 확률 학습, 시각탐색, 공간주의, 기댓값