

Location Probability Learning depending on Temporal Contexts in Visual Search*

Yoonkyung Kim¹, Min-Shik Kim^{1*}

¹Department of Psychology, Yonsei University

The location probability learning effect refers to the phenomenon where spatial attention is biased towards a specific location, resulting in faster visual search, when a target appears frequently at that location (Jiang et al., 2013). This study aimed to investigate whether spatial attention is flexibly biased by temporal context in conjunction search. In Experiment 1, the target appeared with high frequency in two specific quadrants depending on the temporal context (300 ms / 1300 ms) after fixation. The results of Experiment 1 showed that spatial attention was biased towards the two high-frequency quadrants regardless of the temporal context. In Experiment 2, by reinforcing the temporal context, the target was presented from either the first or second search display depending on the context, and the results showed that context-specific spatial attention bias occurred. Experiment 3 reaffirmed the influence of the order to investigate specifically the effect sizes of the temporal order and duration confounded in Experiment 2. These results imply that the search display with temporal order information is used as a powerful temporal context in location probability learning, and provide new insights into the way temporal context operates in the human learning mechanism in dynamic environments where space and time coexist.

Keywords: temporal context, location probability learning, spatial attentional bias, visual search

1차원고접수: 23.04.26; 수정본접수: 23.08.24; 최종게재결정: 23.09.01



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.

우리를 둘러싸고 있는 역동적인 환경은 셀 수 없이 많은 규칙(regularity)으로 이루어져 있다. 이러한 규칙은 물리적 세계의 공간과 시간 모두와 관련이 있는데, 예를 들어 물건을 찾을 때 사람들은 자신이 그 물건을 자주 놓는 위치부터 탐색하기 시작하며 엘리베이터를 타거나 내릴 때 사람들은 언제 문이 열릴지 의식하지 않아도 시간에 맞추어서 발을 내딛는다. 뿐만 아니라 시간과 공간의 규칙이 서로 연합된 경우도 존재하는데 예를 들어, 권투 대결을 하는 상황이라고 가정해보자. 상대방의 주먹을 피하면서 유효한 펀치를 날리기

위해서는 상대방의 펀치 스타일을 잘 아는 것이 중요하다. 빠른 속도로 진행되는 대결 상황에서, 선수는 상대방이 날리는 펀치들을 경험함으로써 자신도 모르는 사이에 상대방의 펀치 스타일을 학습하게 된다. 선수가 의식하지는 못해도 상대방이 왼손으로는 짧게 잽을 자주 날리고 오른손으로는 훅을 날린다면 선수는 해당 규칙에 맞춰서 상대방의 펀치를 잘 피하게 될 것이다. 즉, 상대방이 어느 손으로 언제 펀치를 날리는지에 대한 외현적인 지식은 없더라도 펀치를 맞고 피하는 경험들이 쌓이고 그 지식을 빠르게 학습함으로써 자신

* 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

에게 유리하게 사용하는 사람이 승리를 거둘 확률이 높아지는 것이다. 이렇듯 우리는 일상에서 시간 혹은 공간과 관련한 규칙들을 의식적으로 혹은 무의식적으로 학습하며 이렇게 '경험'에 의해 축적된 통계적 규칙은 인간의 주의를 유도할 뿐 아니라 동시에 효율적인 행동을 가능케 한다(Awh et al., 2012; Theeuwes, 2019).

공간과 시간의 규칙성이 어떤 조건에서 어떤 방식으로 학습되는지에 관한 연구들은 최근까지도 활발히 진행되고 있는데, 특히 공간과 관련된 연구가 상대적으로 비중을 많이 차지하고 있다. 공간의 규칙성이 자동적으로 학습됨을 보여주는 대표적인 예로 위치 확률 학습(Location probability learning)이 있다(Druker & Anderson, 2010; Geng & Behrmann, 2002, 2005; Jiang et al., 2013). 위치 확률 학습 패러다임에서는 일반적으로 시각탐색 과제가 사용되는데, 표적은 특정 한 사분면에서 다른 나머지 사분면들보다 출현할 확률이 높아지고 이때 확률과 관련된 통계적 규칙은 탐색해야 할 표적의 위치와 관련하여 조작된다. 시행이 거듭됨에 따라 공간 주의를 고빈도 사분면으로 편향됨으로써 참가자들은 규칙을 알지 못함에도 불구하고 표적에 대한 위치 확률을 학습하게 되며 해당 고빈도 사분면에 표적이 나타났을 때 탐색 효율이 높아지게 된다. 이러한 학습은 검사 회기에서 표적의 출현 빈도가 모든 사분면에서 동일하게 조작될 때도 비교적 안정되게 유지가 된다(Jiang & Swallow, 2014). 이렇게 시각탐색 시 표적이 특정 위치에 빈번하게 출현할 때 해당 위치로의 공간 주의 편향이 발생함으로써 탐색 속도가 빨라지는 현상을 위치 확률 학습 효과라 한다. 이러한 위치 확률 학습은 표적뿐만 아니라 방해자극이 높은 확률로 출현할 때 효과적으로 억제하는데 적용된다. Wang 등(2019)은 방해자극들 중 한 개의 다른 모양을 찾는 단독자(singleton) 탐색 과제에서 현저한 색의 방해자극이 특정한 위치에 높은 확률로 출현할 때 시간이 지남에 따라 고빈도로 출현하는 방해자극에 대한 억제를 통해 표적에 대한 탐색 속도가 빨라지는 것을 확인하였다.

공간적 규칙성뿐 아니라 시간적 규칙성도 시각탐색에서 학습을 통해 주의 편향을 발생시키는 것으로 밝혀졌다(Nobre & Rohenkohl, 2014; Nobre & van Ede, 2018). Olson과 Chun(2001)의 연구에 따르면, 일정한 간격(interval)마다 글자의 시퀀스가 무작위로 연속적으로 제시될 경우, 표적이 나타나는 순서는 무선적임에도 불구하고 글자가 제시되는 시간적 간격에 대한 학습을 통해 참가자들은 표적에 대해 빠른 탐색을 하게 된다. 또한, Erickson의 수반자극(flanker) 과제를 사용한 Wendt와 Kiesel(2011)의 연구에서 일정한 두 개

의 시간 간격(짧거나 긴 시간 간격)을 방해자극에 대한 확률과 연합시키면, 방해자극이 높은 확률과 연합되었을 때 낮은 확률과 연합되었을 때보다 수반자극 간섭 효과가 더 낮았다. 이러한 연구 결과는 시간 또한 주의를 이동시키는 데 하나의 맥락적인 단서로 사용된다는 것을 의미한다.

이처럼 공간과 시간에 관련된 표적과 방해자극에 대한 규칙성에 따른 주의 연구는 상당 부분 많이 진행되어 왔지만 시간과 공간의 규칙성을 연합하여 주의를 이동을 살펴본 연구는 상대적으로 그 수가 많지 않다. 최근 Boettcher 등(2022)은 일정한 간격(interval)과 순서라는 시간적 규칙성(sequence)을 표적이 출현하는 위치와 연합시킨 결과, 순서와 위치 모두 무선화되어 참가자들이 예측하기 어려운 표적보다 더 빠르게 탐색하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 시간의 일정한 간격과 순서를 가진 규칙성이 특정 위치에 나타나는 표적에 대한 공간 주의를 유도할 수 있다는 사실을 의미한다. 또한 Wagener와 Hoffmann(2010)의 연구에 따르면, 모양 식별 과제에서 좌우 두 개의 위치에서 짧거나 긴 시간 간격(interval)에 따라 특정 모양의 표적과 위치가 연합되어 각각 높은 확률로 나타날 때 해당 시간 간격에 따라 연합된 모양에 대한 반응과 표적의 위치에 대한 탐색 속도가 빨라지게 된다. 이는 특정 시간적 기대(specific temporal expectancy)에 의해 하나의 위치와 하나의 시간 간격이 연합되어 두 규칙성의 연합에 의해 표적에 대한 탐색의 효율성이 높아진다는 것을 의미한다. 뿐만 아니라 단독자 탐색 과제에서 두 개의 시간 간격과 표적 또는 현저한 색을 가진 방해자극이 자주 출현하는 두 개의 위치와 연합될 경우, 각 시간적 맥락에 따라 높은 확률로 나타나는 위치에 해당하는 표적을 빠르게 탐색하거나 방해자극에 대한 억제를 통해 표적에 대한 반응 시간의 차이가 유의한 것을 확인하였다(Xu et al., 2021, 2023). 이러한 결과들은 모두 시간이 하나의 맥락 단서로서 공간의 규칙성과 서로 밀접하게 연관되어 시각탐색 과제의 효율성을 높인다는 사실을 시사한다. 또한 Heuer와 Rolfs(2021, 2023)의 연구에서는 작업 기억(working memory)에서 시간적 정보가 공간적 정보와 함께 부수적으로 부호화(encoding)되며 시간적 속성이 공간적 속성과 동일한 수준으로 표상됨을 밝히면서, 시간과 공간적 정보의 연합이 색이나 크기와 같은 세부 특징(feature)과는 달리 서로 밀접한 관련성을 가지고 있음을 주장하였다.

본 연구는 공간적 규칙성 학습 연구의 대표적 패러다임인 위치 확률 학습 절차에 시간 간격이라는 추가적 정보의 규칙성이 결합되었을 때 시간 맥락에 따른, 혹은 시간과 결합된 위치 확률 학습이 발생하는지를 알아보고자 일련의 실험들을

계획하였다. 지금까지 위치 확률 학습 패러다임을 사용하여 결합 탐색(conjunction search)에서 시간적 맥락(시간적 간격 차이)에 따른 공간 주의 편향의 발생 여부를 알아본 연구는 부재하다. 더욱이, 일부 선행 연구들은 위치 확률 학습에서 공간 이외의 다른 맥락 정보에 따라 공간 주의 편향이 유도되지 못함을 보고하였는데, 이들 연구에서는 작업 기억 부하 여부나 표적의 유형과 방해자극의 구성 간 연합 등을 맥락 정보로 사용하였다(Ahn & Kim, 2017; Won & Jiang, 2015). 그러나 최근 Hong 등(2020)의 연구에서는 맥락이 과제와 밀접한 관련성이 있는 경우, 주어진 맥락에 해당되는 표적 출현 빈도가 높은 사분면으로의 공간 주의가 유연하게 학습될 수 있음을 보고하였다. 두 가지의 색(흰색/검은색)과 연합된 두 개의 고빈도 사분면(표적이 자주 출현하는 사분면)에 대해 색 단서가 과제 수행에 반드시 필요할 때에는 각각의 색 맥락에 따라 해당하는 맥락과 연합된 사분면으로의 공간 주의가 편향되었다. 반면, 색 맥락이 과제 수행에 필요 조건이 아닌 경우에는 색 맥락과 상관없이 두 개의 고빈도 사분면으로의 공간 주의 편향이 발생하였다. 그러나 Heuer와 Rolfs(2021)의 연구에 따르면, 색이나 크기와 같은 세부 특징과 달리 시간은 공간과 매우 밀접하게 연관되어 있다. 따라서 Hong 등(2020)의 연구에서 사용한 색 맥락을 시간적 맥락으로 변경한다면, 그 맥락이 과제 수행에 필요 조건이 아닌 경우에도 시간 맥락 특정적(context-dependent)으로 공간 주의 편향이 발생할 수도 있다. 즉, 시간적 맥락이 탐색 과제 수행에 필수적인 상황이 아닌 경우에도 위치 확률 학습 패러다임에서 시간적 맥락과 위치 간의 암묵적 연합의 가능성이 있을 수 있다. 이러한 가능성을 검증하기 위해 총 3개의 실험을 수행하였다. 참가자들은 많은 방해자극들(L) 중에서 하나의 표적(T)을 찾는 결합 탐색 과제를 수행하였으며 시간적 맥락은 실험 1에서 응시점과 탐색 과제 사이인 시간적 간격(interval)으로 조작하였고, 실험 2에서는 순서(order), 실험 3에서는 시간 길이와 순서 모두를 포함하였다.

실험 1

실험 1에서는 시각탐색 자극들이 출현하는 시간적 맥락(응시점과 탐색 자극 출현 시간의 간격 차이)에 따라 표적의 출현 빈도에 의해 발생하는 위치 확률 학습 효과의 양상이 달라지는지를 알아보았다. 실험 1은 기존 Hong 등(2020)의 설계를 사용하여 표적의 출현 빈도에 의해 발생하는 위치 확률 학습 효과를 반복 검증하며, 시간 맥락 특정적으로 공간 주의 편향이 발생하는지 확인하고자 진행되었다. 만약, 시간적 맥락

에 따라 위치 확률 학습이 가능하다면, 각 시간 맥락에 따라 표적이 고빈도로 출현하는 특정 하나의 사분면에 대한 반응 시간과 다른 맥락에 해당하는 고빈도 사분면에 대한 반응 시간의 차이가 유의하게 나타날 것이라 예상하였다.

방법

참가자

총 42명의 참가자가 실험을 위해 모집되었다. 먼저 36명의 참가자가 모집되었고, 이 실험이 암묵적 학습에 의한 결과라는 것을 검증하기 위해 규칙을 안 6명의 참가자를 제외한 후 6명을 추가적으로 모집하였다. 그 중 연세대학교 학생 4명(여성 4명)이 심리학 강의의 수강 요건을 충족하기 위하여 실험에 참가하였으며 연세대학교 홈페이지 게시판을 통해 모집된 참가자들(남성 16명, 여성 22명)은 문화상품권 10,000원을 지급받았다. 모든 참가자는 정상 또는 교정된 시력 및 정상 청력을 가지고 있었으며, 실험의 가설과 목적에 대하여 전혀 알지 못했다. 모든 참가자들은 연구 참여 전 연세대학교 생명윤리심의위원회의 절차를 통하여 승인된 사전 동의서에 서명하였다.

표본의 크기는 본 실험과 비슷한 설계인 Won과 Jiang(2015) 연구의 효과 크기를 기준으로 G*Power 3.1 프로그램을 사용하여(Faul et al., 2007) 설정하였다. 동일한 효과 크기를 맞추기 위해 전체 표본의 수는 최소 24명이 요구되었다. 그러나 표적이 동일한 빈도로 출현하는 검사 회기에서 더 적은 공간 주의 편향이 예상되었기 때문에 맥락에 따른 고빈도 사분면의 역균형에 필요한 12명을 추가하여 총 36명의 참가자를 모집하였다.

도구 및 자극

참가자들은 암전이 된 독립된 공간에서 턱-이마 받침대(chin and forehead rest)를 사용하여 과제를 수행하였다. 모니터와 참가자 간 거리는 57cm로 유지하였으며 IBM 호환 Dual-Core 급 개인용 컴퓨터와 3D LED 모니터(24inch)를 사용하여 자극 제시와 반응 기록을 하였다. 모니터 화면의 주사율은 120 Hz 이었으며 해상도는 1920 × 1080으로 설정하였다. 자극은 MATLAB과 Psychophysics Toolbox(Brainard, 1997; Pelli, 1997)를 통해 구현하였다. 탐색 화면은 회색 배경(RGB: 128, 128, 128)으로 각 셀의 크기가 1.63° X 1.60° 인 10 × 10 격자로 나누어져 각 사분면마다 25개의 셀(cell)들을 포함하도록 조작하였다. 한 개의 표적과 15 개의 방해 자극들이 제시되었으며, 표적인 검정색

‘T’는 왼쪽 또는 오른쪽 방향으로 90° 기울어져 제시되었고 방해 자극인 검정색 ‘L’들은 0°, 90°, 180° 혹은 270° 기울어져 제시되었다. 각 자극의 크기는 0.82° × 0.80° 이었다. 탐색 배열에 제시되는 총 16개의 자극의 위치는 보이지 않는 각 사분면의 25개의 셀들 중 네 개씩 무선적으로 선택되었으며, 각 사분면에 각각 네 개의 자극이 제시되었다. 매 시행 표적과 방해 자극의 방향은 무선적으로 선택되었으며 각 셀 안에서 자극의 위치는 중앙으로부터 ±0.27° 내에서 수평 및 수직으로 무선화되었다.

설계 및 절차

실험 소요 시간은 약 50분이었다. 본 시행에 앞서 32 시행의 연습 시행을 실시하였고, 본 시행은 80 시행씩 5구획인 400 시행의 훈련 회기와 80 시행의 검사 회기로 구성되었다. 시행이 시작되면 시작을 알리는 청각음(100 ms)과 동시에 화면 중앙에 응시점이 500 ms 동안 나타난다. 이후 시간적 맥락에 따라 빈 화면(회색 배경)이 짧거나 길게(300 ms 또는 1300 ms) 제시된 다음, 16개의 자극이 포함된 탐색 배열이 나타났다. 참가자들은 방해자극인 L 가운데 하나의 표적인 T를 찾아 기울기 방향에 따라 각각 ‘z’키 또는 ‘/’키를 가능한 정확하고 빠르게 누르도록 지시받았다. 탐색 자극은 참가자가 반응할 때까지 제시되었다. 만약 틀린 시행일 경우 시각적 자극을 사용하여 피드백으로 제시하였으며 시행 간격은 500 ms였다(그림 1 참조).

훈련 회기 동안 각 시간적 맥락에 따라 하나의 사분면은 고빈도 사분면으로 지정되었고 나머지 세 개의 사분면은 저빈도 사분면으로 지정되었다. 각 맥락에 따라 한 개의 사분면은 표적인 T가 70%의 높은 확률로 출현하도록 조작되었고, 나머지 세 개의 사분면은 표적이 각각 10%의 낮은 확률로 출현하도록 조작되었다. 두 시간적 맥락에 따른 고빈도 사분면은 항상 다른 사분면에 각각 지정되었고, 이들 고빈도 사분면은 참가자 별로 역균형화되어 지정되었다(그림 2 참

조). 선행 연구(Hong et al., 2020)에서는 고빈도 사분면이 50%, 저빈도 사분면이 16.67%로 조작되었으나 12명 참가자의 예비 실험 결과, 통계적 규칙을 학습하지 못하는 경향을 보였다. 따라서 목표 자극 출현 확률이 높아질수록 해당 사분면으로의 강한 위치 확률 학습이 발생한다는 사실(Brascamp et al., 2011)을 토대로 확률을 70%로 상향 조정하여 실험을 진행하였다.

검사 회기에서는 두 맥락 모두 네 개의 사분면에 각각 25%의 동일한 확률로 표적이 출현하였다. 검사 회기는 통계적 규칙이 존재하지 않을 때 장기적인 위치 확률 학습 효과와 표적이 높은 확률로 출현하는 위치로의 주의의 반복적인 이동으로부터 위치 확률 학습 효과를 분리하고자 수행되었다.

맥락에 따른 확률 조건에는 타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도 총 세 가지가 존재하는데 먼저, 타당-고빈도 조건에서 표적은 시행 내 정해진 시간적 맥락(예: 짧은 시간 간격)에서 예측되는 고빈도 사분면에 출현하였다. 비타당-고빈도 조건에서 표적은 다른 맥락(예: 긴 시간 간격)의 고빈도 사분면에 출현하였다. 중립-저빈도 조건에서 표적은 앞서 설명한 두 맥락에서 표적이 자주 출현하는 사분면이 아닌 나머지 두 사분면 중 하나에 나타났다. 실험의 설계 및 통계적 규칙에 대한 설명은 그림 2와 같다.

탐색 과제 이후, 사후 설문에서 참가자들은 모든 사분면에서 표적이 동일한 확률로 제시되었다고 느끼는지 응답하였다. 그런 다음 응시점 이후 제시되는 회색 화면 제시 시간(예: 짧거나 긴 시간 간격)에 따라 서로 다른 사분면에 표적이 자주 출현한다는 규칙을 알게 되었다. 참가자들은 짧은 회색 화면 제시 시간 이후와 긴 회색 화면 제시 시간 이후 표적이 자주 출현하는 사분면을 각각 추측하도록 요구받았다. 모든 사분면에서 표적이 다른 확률로 제시되었고 각 시간적 맥락에 따른 고빈도 사분면을 모두 정확하게 맞춘 참가자는 확률 조작에 대한 외현적 지식이 있는 것으로 간주되어 분석에서 제외하였다.

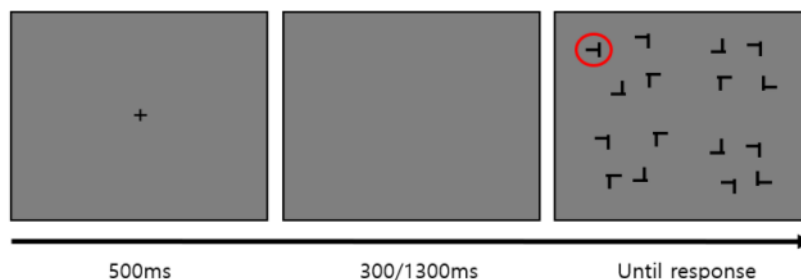


Figure 1. The Procedure of Experiment 1. After the fixation(500ms), depending on the temporal context (short-time: 300ms, long-time: 1300ms), a gray screen is presented, followed by the presentation of a visual search array. The search array is maintained until the participant responds. The following illustration is not drawn to scale and is provided for the purpose of understanding.

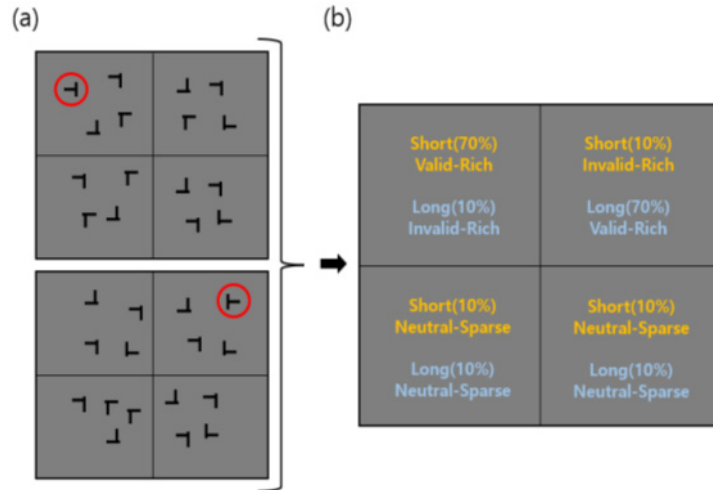


Figure 2. Schematic description of Experiment 1. (a) In the visual search task, the quadrant boundaries did not appear in the experiment, nor did the red circles. (b) In this example, the upper left quadrant is the short-time rich quadrant. The upper right quadrant is the long-time rich quadrant. The other two quadrants are “neutral-sparse” quadrants. In a short-time context, the upper left quadrant becomes the “valid-rich” quadrant, and the upper right quadrant becomes the “invalid-rich” quadrant. Likewise, in a long-time context, the upper right quadrant is the “valid-rich” quadrant, and the upper left quadrant is the “invalid-rich” quadrant. The other two sparse quadrants are the “neutral-sparse” quadrants. The following illustration is not drawn to scale and is provided for the purpose of understanding.

분석 방법

데이터는 JASP(Version 0.16.0; JASP Team, 2021)를 통해 반응 시간을 분석하였다. 실험 1의 전체 참가자 중 총 36명의 데이터를 분석하였으며, 표적에 대해 맞게 반응한 시행만을 대상으로 분석하였다. 전체 참가자의 정확도는 98.37% ($SD = 3.27\%$)이었다. 이 중 탐색 과제의 반응 시간이 10초가 넘는 시행은 분석에서 제외되었다(Jiang et al., 2015; Won & Jiang, 2015). 그 결과 전체 시행 중 0.96% 시행이 제거되었다.

전행적인 위치 확률 학습 연구의 분석 방법에 따르면, 참가자들은 표적이 저빈도 사분면에 출현했을 때보다 자주 출현하는 고빈도 사분면에 출현했을 때 유의하게 빠른 반응 시간을 보인다. 그러므로, 위치 확률 학습의 효과는 고빈도(타당-고빈도와 비타당-고빈도) 조건과 중립-저빈도 조건 간 반응 시간을 비교함으로써 알 수 있다.

한편, 맥락에 따른 위치 확률 학습 효과는 두 개의 맥락에 따라 타당-고빈도와 비타당-고빈도 두 조건 간 반응 시간을 비교하는 것을 통해 확인할 수 있다. 만약 참가자들이 시간적 맥락에 따른 통계적 규칙을 각각 따로 구분하여 학습한다면, 맥락 특정한 공간 주의 편향이 발생하기 때문에 비타당-고빈도 조건보다 타당-고빈도 조건에서 유의하게 빠른 탐색 수행을 보일 것이다. 반대로, 만약 맥락과 상관없이 공간 주의 편향이 발생한다면, 두 조건 간 반응 시간의 차이가

유의하지 않을 것이다.

결과

훈련 회기

전체 훈련 회기의 정확도는 98.51% ($SD = 2.72\%$)이었으며, 참가자의 짧은 시간 간격 조건의 정확도는 98.48% ($SD = 2.42\%$), 긴 시간 간격 조건의 정확도는 98.54% ($SD = 3.05\%$)였다. 시간적 맥락(2; 짧거나 긴 시간 간격) \times 확률(3; 타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도) \times 구획(1-5)을 참가자내 변인으로 설정하여 시각탐색 과제의 반응 시간에 대한 삼원 분산 분석(three-way analysis of variance with repeated measure, 3-way repeated ANOVA)을 실시하였다. 구형성(sphericity) 가정을 위반하는 경우, Greenhouse-Geisser 분석을 통해 제시되는 p 값에 근거하여 유의성을 판단하였다. 분석 결과, 시간적 맥락의 주효과가 유의하게 나타났으며 $F(1, 35) = 4.59, p = .039, n_p^2 = .12$, 확률의 주효과가 유의하게 나타났으며, $F(1.41, 49.26) = 35.66, p < .001, n_p^2 = .51$. 또한 구획의 주효과가 유의하였으며, $F(4, 140) = 25.96, p < .001, n_p^2 = .43$, 확률과 구획 간 상호작용이 유의하였다, $F(5.62, 196.59) = 2.59, p = .022, n_p^2 = .07$.

사후 분석 결과, 일반적인 시간적 기대감에 의한 결과와

동일하게 시간적 맥락이 긴 경우의 반응 시간($M = 2505.09$, $SD = 75.44$)이 시간적 맥락이 짧은 경우($M = 2568.10$, $SD = 74.44$)보다 유의하게 빨랐다, $t(35) = 2.14$, $p = .039$. 확률 조건에서는 타당-고빈도 조건($M = 2417.66$, $SD = 72.36$)과 비타당-고빈도 조건($M = 2506.12$, $SD = 76.76$)이 모두 중립-저빈도 조건($M = 2974.05$, $SD = 87.85$)보다 유의하게 반응 시간이 빨랐으며, $t(35) = -7.89$, $p < .001$, $t(35) = -6.55$, $p < .001$, 이는 고빈도 조건이 저빈도 조건의 반응 시간보다 빠른 위치 확률 학습 효과가 나타났다고 볼 수 있다. 그러나 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간의 차이는 유의하지 않았다. $t(35) = -1.34$, $p = .550$. 이러한 결과는, 고빈도 사분면에 대한 위치 확률 학습은 발생하였지만, 맥락 독립적으로 학습이 발생하였다고 볼 수 있다. 구획이 거듭됨에 따라 모든 조건에서 반응 시간이 빨라졌으며 이는 연습효과라고 해석할 수 있다.

위치 확률 학습(타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도)과 맥락 효과(타당-고빈도, 비타당-고빈도)를 확인하기 위해 시간적 맥락(짧거나 긴 시간 간격)과 확률(타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도)만 포함하여 ANOVA를 실시하였다. 분석 결과, 시간적 맥락의 주효과가 유의하였으며, $F(1, 35) = 4.81$, $p = .035$, $n_p^2 = .12$, 확률의 주효과가 유의하였다, $F(1.39, 48.70) = 36.00$, $p < .001$, $n_p^2 = .51$.

사후 분석 결과, 동일하게 시간적 맥락이 긴 경우에 시간적 맥락이 짧은 경우보다 반응 시간이 유의하게 빨랐으며 $t(35) = 2.19$, $p = .035$, 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건 모두 중립-저빈도 조건보다 유의하게 빠른 위치 확률 학습 효과가 나타났다, $t(35) = -7.89$, $p < .001$; $t(35) = -6.64$, $p < .001$. 그러나 맥락 특정적 학습이라고 볼 수 있

는 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간 차이는 유의하지 않았다, $t(35) = -1.25$, $p = .649$ (그림 3 참조).

검사 회기

검사 회기에서 표적은 모든 사분면에 동일한 확률로 출현하였다. 전체 검사 회기에서 참가자의 정확도는 97.68%($SD = 6.17\%$)였고 짧은 시간 간격 조건의 정확도는 97.39%($SD = 7.41\%$), 긴 시간 간격 정확도는 97.98%($SD = 5.14\%$)였다. 시간적 맥락(2; 짧거나 긴 시간 간격) × 확률(3; 타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도) 조건을 참가자내 변인으로 설정하여 시각탐색 과제의 반응 시간에 대한 이원 분산 분석(2-way repeated ANOVA)을 실시한 결과, 확률의 주효과가 유의하게 나타났다, $F(2, 70) = 8.30$, $p < .001$, $n_p^2 = .19$.

사후 분석 결과, 타당-고빈도 조건($M = 2266.01$, $SD = 89.06$)과 비타당-고빈도 조건($M = 2216.80$, $SD = 79.16$)이 모두 중립-저빈도 조건($M = 2551.83$, $SD = 87.67$)보다 유의하게 반응 시간이 빠른 위치 확률 학습 효과를 확인할 수 있었다, $t(35) = -3.20$, $p = .006$; $t(35) = -3.79$, $p < .001$. 그러나 타당-고빈도와 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간을 비교했을 때, 타당-고빈도 조건의 반응 시간이 비타당-고빈도 조건보다 유의하게 빠른 맥락 특정적 학습은 관찰되지 않았다, $t(35) = 0.59$, $p = 1.00$ (그림 3 참조). 이는 모든 사분면에서 표적의 출현 빈도 확률이 같은 검사 회기에서 위치 확률 학습 효과는 일관되게 발생하였지만, 시간적 맥락과는 독립적(context-independent)으로 공간 주의가 고빈도 사분면으로 편향되었다는 것을 의미한다(그림 3 참조).

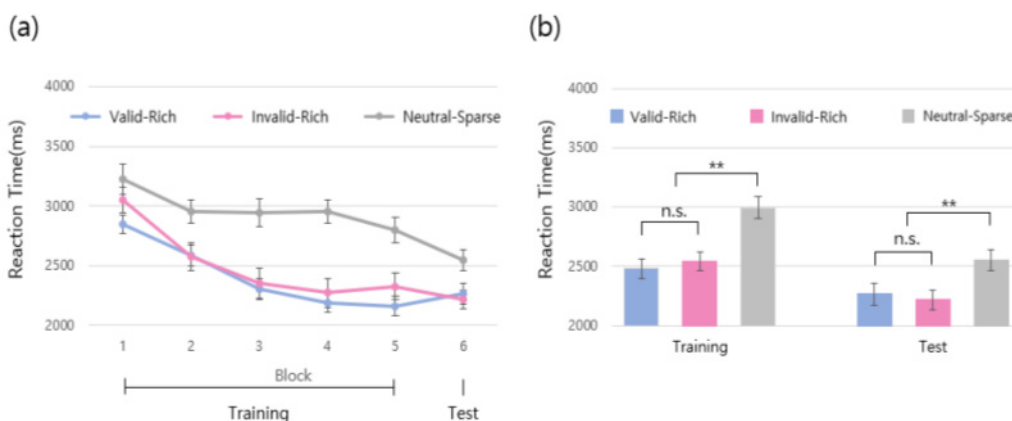


Figure 3. Results from Experiment 1, (a) Reaction times(RTs) of each probability condition by blocks. The training phase was in Block 1 to Block 5, and the test phase is Block 6. (b) RTs by probability and phase in Experiment 1. Error bars represent standard error. * $p < .05$, ** $p < .01$.

논 의

실험 1의 연구 결과, 참가자는 표적이 자주 출현하는 고빈도 사분면에 대한 통계적 규칙성을 학습하고 이를 표적을 탐색하는데 사용한다는 사실이 확인되었다. 그러나 두 개의 다른 시간적 맥락에 따른 확률적 지식을 구분하여 습득하지는 않은 것으로 보인다. 즉, 탐색 속도는 맥락과 상관없이 두 개의 고빈도 사분면 중 하나에서 표적이 출현할 때 빨라졌다. 이는 기존의 위치 확률 학습 효과를 검증한 것으로 맥락과 상관없이 위치 확률 학습에서 표적 출현 빈도 정보의 영향력이 강력하다는 사실을 의미하며, 맥락에 따른 위치 확률 학습은 맥락과 독립적으로 발생한다는 선행 연구 결과(Won & Jiang, 2015)를 반복 재현하였다고 볼 수 있다. 결과적으로, 시각탐색 과제에서 맥락 정보가 과제에 유용한 단서로 사용되지 않을 때 맥락 정보가 암묵적으로 습득되지 않는다는 것을 의미하며 맥락과는 독립적으로 공간주의 편향이 발생한다는 것을 시사한다. 또한, 긴 시간 간격 조건의 반응 시간이 짧은 시간 간격 조건보다 빠른 것은 균일한 간격 분포(uniform interval distribution)에서 과제를 수행할 때, 긴 시간 간격 조건에서는 짧은 시간 간격이 지난 다음에 반드시 탐색 과제가 나타날 것이라는 일반적인 시간적 기대감(temporal expectancy)으로 인한 효과라고 볼 수 있다(Nobre & van Ede, 2018; Los et al., 2014).

실험 1은 기존의 실험 패러다임의 맥락 정보를 색이 아닌 시간으로 조작함으로써 위치 확률 학습 상황에서 시간이 미치는 영향력을 확인해볼 수 있다는 의의가 있다. 그러나, 본 실험은 표적 탐색 과제이기 때문에 표적의 출현 빈도는 과제를 수행함에 있어 중요한 단서로 작용했으나 시간적 맥락 정보는 과제에 유용한 단서로 사용되지 않았을 가능성이 있다. 또한 본 실험에서 사용한 빈 화면의 단순한 시간적 길이 차이(1000 ms)만으로는 우리가 시간의 경과를 의미있게 표상하는데 충분하지 않을 수도 있다. 따라서 단순한 시간적 차이뿐만 아니라 두 개의 사건(event)이 시간적으로 전과 후에 나타나도록 조작한다면 시간적(temporal) 맥락을 좀 더 확실하게 조작할 수 있을 것으로 예상하여 실험 2를 실시하였다.

실험 2

실험 2는 실험 1에 사용되었던 단순한 시간적 길이에 의한 조작보다는 비록 짧은 시간 간격이라고 하더라도 시간의 경과를 확실히 알 수 있는 두 개의 이벤트를 시차를 두고 제시하여 시간적 맥락을 조작하였다. 즉 전체 탐색 자극들 중

반을 먼저, 나머지 반은 시차를 두고 나중에 제시하였는데, 이러한 순서에 의한 시간적 맥락이 표적의 출현 빈도에 의해 발생하는 위치 확률 학습 과정에 어떤 영향을 미치는지 확인하고자 하였다.

방 법

참가자

총 27명의 참가자가 실험을 위해 모집되었다. 먼저 24명의 참가자가 모집되었고, 이 실험이 암묵적 학습에 의한 결과라는 것을 검증하기 위해 규칙을 안 3명의 참가자를 제외한 후 3명을 추가적으로 모집하였다. 연세대학교 홈페이지 게시판을 통해 모집된 참가자들(남성 9명, 여성 18명)은 문화상품권 5,000원을 지급받았다. 모든 참가자는 정상 또는 교정된 시력 및 정상 청력을 가지고 있었으며 실험의 가설과 목적에 대하여 전혀 알지 못했다. 또한, 연구 참여 전 연세대학교 생명윤리심의위원회의 절차를 통하여 승인된 사전 동의서에 서명하였다. 전체 표본의 수는 실험 1과 동일하게 최소 24명이 요구되었다.

도구 및 자극

자극의 구현과 제시 및 반응 기록 수집에 사용된 도구는 모두 실험 1과 동일하였다.

설계 및 절차

총 32 시행의 연습 시행이 실시되었고, 본 시행은 80 시행씩 5구획인 400 시행의 훈련 회기와 80 시행의 검사 회기로 구성되었다. 실험 절차는 다음과 같다. 총 16개의 탐색 배열을 둘로 나누어 제시하는데, 순서에 의한 시간적 맥락에 따라 선표적 맥락은 첫 번째 화면부터 표적이 존재하고, 후표적 맥락은 두 번째 화면에 표적이 존재한다. 구체적으로, 응시점(500 ms) 제시 이후 두 번의 탐색 화면이 제시되는데, 시간적 맥락에 따라 표적이 나타나는 탐색 화면의 순서가 달라졌다. 먼저, 선표적 맥락에서는 첫 번째 화면이 200 ms 제시되는 동안 한 개의 표적과 7개의 방해자극인 L들이 존재한다. 이후 8개의 방해 자극이 추가적으로 제시되는데, 첫 번째 제시되었던 8개의 자극과 겹치지 않는 위치에 나타났다. 반면, 후표적 맥락에서는 첫 번째 화면이 200 ms 제시되는 동안 8개의 자극 모두 방해자극으로 제시되며 이어지는 화면에 한 개의 표적과 7개의 방해자극이 겹치지 않는 위치에 추가적으로 제시되었다. 참가자들의 도약 안구 이동(saccadic eye movement)을 제한하기 위해 첫 번째 탐색 배

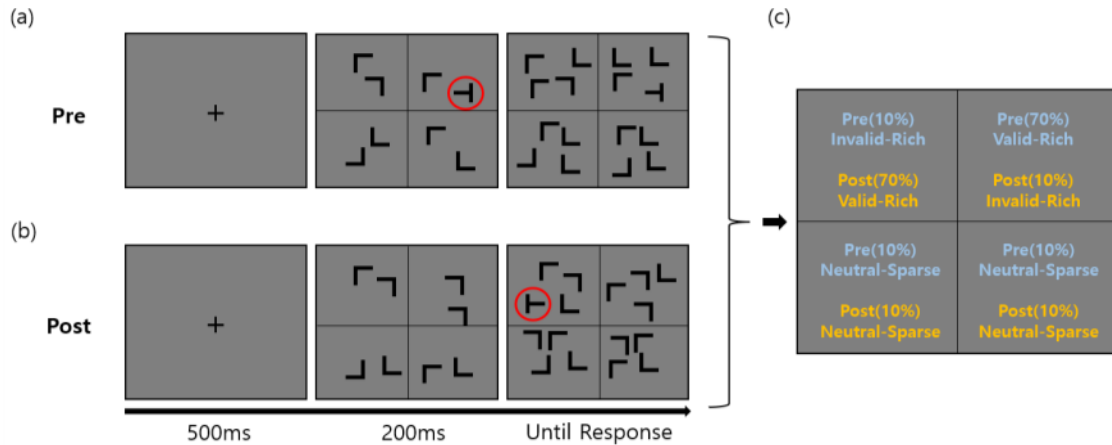


Figure 4. The procedure and schematic description of Experiment 2. (a) Pre-target context. After the fixation, one target and seven distractors are presented for 200 ms, followed by eight additional distractors. (b) Post-target context. After the fixation, eight distractors are presented for 200 ms, followed by one target and seven more distractors. (c) In this example, the upper right quadrant is the pre-target rich quadrant, and the upper left quadrant is the post-target rich quadrant. The other two quadrants are the “neutral-sparse” quadrants. In the pre-target context, the upper right quadrant becomes the “valid-rich” quadrant, and the upper left quadrant becomes the “invalid-rich” quadrant. Likewise, in the post-target context, the upper left quadrant is the “valid-rich” quadrant, and the upper right quadrant is the “invalid-rich” quadrant. The other two sparse quadrants are the “neutral-sparse” quadrants. The following illustration is not drawn to scale and is provided for the purpose of understanding.

열의 제시 시간을 200 ms로 제한하였다. 참가자들은 표적이 존재할 때 T의 기울기를 판단하였고, 반응 시간 제한 없이 정확하고 빠르게 응답하도록 요구받았다. 참가자들의 반응 시간은 시간적 맥락에 따라 표적이 나타나는 탐색 화면의 제시 시점부터 기록되었다. 탐색 과제 이후, 실험 1과 동일하게 사후 질문을 진행하였으며, 실험 2의 절차 예시는 그림 4에 제시되어 있다.

분석 방법

분석은 실험 1과 동일한 방식으로 진행되었으며, 200 ms 이하 또는 3000 ms 이상의 반응은 분석에서 제외되었다. 전체 참가자의 정확도는 98.24%(SD = 0.31%)였으며 전체 시행 중 0.24% 시행이 제거되었다.

위치 확률 학습 효과에 대한 분석은 실험 1과 동일하게 시간적 맥락과 확률 및 구획을 참가자내 변인으로 설정하여 분석하였다. 추가로, 맥락 효과를 보여주는 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간을 비교하였다.

결 과

훈련 회기

훈련 회기의 전체 정확도는 98.21%(SD = 0.31%)였고 선표적 조건의 정확도는 98.73%(SD = 0.28%), 후표적 조건의 정확도는 97.70%(SD = 0.43%)였다. 시간적 맥락(2; 선표적,

후표적) × 확률(3; 타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도) × 구획(1-5)을 참가자내 변인으로 설정하여 시각탐색 과제의 반응 시간에 대한 삼원 분산 분석(3-way repeated ANOVA)을 실시하였다. 분석 결과, 시간적 맥락의 주효과가 유의하게 나타났으며 $F(1, 23) = 94.21, p < .001, n_p^2 = .80$, 확률의 주효과가 유의하게 나타났으며, $F(2, 46) = 32.42, p < .001, n_p^2 = .59$. 또한 구획의 주효과가 유의하였다, $F(4, 92) = 10.80, p < .001, n_p^2 = .32$.

사후 분석 결과, 선표적 조건의 반응 시간($M = 727.17, SD = 27.77$)이 후표적 조건의 경우($M = 884.52, SD = 29.96$)보다 유의하게 빨랐다, $t(23) = -9.71, p < .001$. 확률 조건에서는 타당-고빈도 조건($M = 765.90, SD = 29.56$)과 비타당-고빈도 조건($M = 807.28, SD = 29.72$) 모두 중립-저빈도 조건($M = 942.15, SD = 30.35$)보다 유의하게 반응 시간이 빠른 위치 확률 학습 효과가 확인되었다, $t(23) = -7.71, p < .001$; $t(23) = -5.88, p < .001$. 그러나 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간의 차이는 유의하지 않았으며, 이는 맥락 독립적인 공간 주의 편향이 발생하였다고 볼 수 있다, $t(23) = -1.83, p = .22$. 구획이 거듭됨에 따라 모든 조건에서 반응 시간이 빨라졌으며 이는 연습효과라고 해석할 수 있다.

위치 확률 학습(타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도)과 시간적 맥락 효과(타당-고빈도, 비타당-고빈도)를 확

인하기 위해 시간적 맥락(선표적, 후표적)과 확률 조건(타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도)만 포함하여 ANOVA를 실시하였다. 분석 결과, 시간적 맥락의 주효과가 유의하였으며, $F(1, 23) = 93.56, p < .001, \eta_p^2 = .80$, 확률의 주효과가 유의하였다, $F(2, 46) = 32.92, p < .001, \eta_p^2 = .59$. 사후 분석 결과, 선표적 조건이 후표적 조건보다 반응 시간이 유의하게 빨랐으며 $t(23) = -9.67, p < .001$, 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건이 중립-저빈도 조건보다 유의하게 빠른 위치 확률 학습 효과가 확인되었다, $t(23) = -7.75, p < .001; t(23) = -5.95, p < .001$. 그러나 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간 차이는 유의하지 않았으며, 맥락 독립적인 공간 주의 편향이 관찰되었다, $t(23) = -1.80, p = .24$ (그림 5 참조).

검사 회기

검사 회기에서 표적은 모든 사분면에 동일한 확률로 출현하였다. 검사 회기에서 참가자의 전체 정확도는 98.38%($SD = 0.40\%$)였으며, 선표적 조건의 정확도는 98.64%($SD = 0.48\%$), 후표적 조건의 정확도는 98.13%($SD = 0.55\%$)였다. 시간적 맥락(2; 선표적, 후표적) × 확률(3; 타당-고빈도, 비타당-고빈도, 중립-저빈도) 조건을 참가자내 변인으로 설정하여 시각탐색 과제의 반응 시간에 대한 이원 분산 분석(2-way repeated ANOVA)을 실시한 결과, 시간적 맥락의 주효과가 유의하게 나타났으며, $F(1, 23) = 58.42, p < .001, \eta_p^2 = .72$, 확률의 주효과가 유의하게 나타났다, $F(2, 46) = 10.77, p < .001, \eta_p^2 = .32$.

사후 분석 결과, 훈련 회기와 동일하게 선표적 조건($M =$

759.09, $SD = 32.21$)이 후표적 조건($M = 909.64, SD = 29.57$)보다 유의하게 빨랐다, $t(23) = -7.64, p < .001$. 타당-고빈도 조건($M = 758.53, SD = 30.99$)이 중립-저빈도 조건($M = 869.79, SD = 33.14$)보다 유의하게 반응 시간이 빠른 위치 확률 학습 효과가 확인되었다, $t(23) = -4.50, p < .001$. 그러나 비타당-고빈도 조건($M = 837.29, SD = 31.61$)과 중립-저빈도 조건 간 반응 시간의 차이는 유의하지 않았으며, $t(23) = -1.28, p = .622$, 맥락 효과를 확인할 수 있는 타당-고빈도 조건과 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간을 비교했을 때, 타당-고빈도 조건의 반응 시간이 비타당-고빈도 조건보다 유의하게 빨랐다, $t(23) = -3.22, p = .007$. 이는 표적이 모든 사분면에서 동일한 확률로 출현하는 검사 회기에서 위치 확률 학습 효과가 일관되게 발생하였으며 동시에 해당 시간적 맥락에 따라 고빈도로 출현하는 표적에 대해 맥락 특징적으로 공간 주의 편향이 발생하였음을 의미한다(그림 5 참조).

논 의

실험 2의 결과를 통해 참가자가 표적이 자주 출현하는 고빈도 사분면에 대한 통계적 규칙성을 학습하고 이를 표적 탐색에 사용하는 위치 확률 학습 효과를 반복 검증하였다. 나아가 순서에 의해 시간적 맥락 정보가 강조된 시각탐색 상황의 경우 즉, 표적이 나타나는 순서가 다르게 제시됨에 따라 실험 1과 다르게 표적이 자주 출현하는 고빈도 위치에서의 반응 시간이 시간적 맥락에 따라 유의하게 빨라진 것을 확인하였다. 이는 순서에 따른 시간적 맥락이 표적 출현 빈도에 의한 공간 주의 편향에 유의한 영향을 미친다는 사실을 의미하

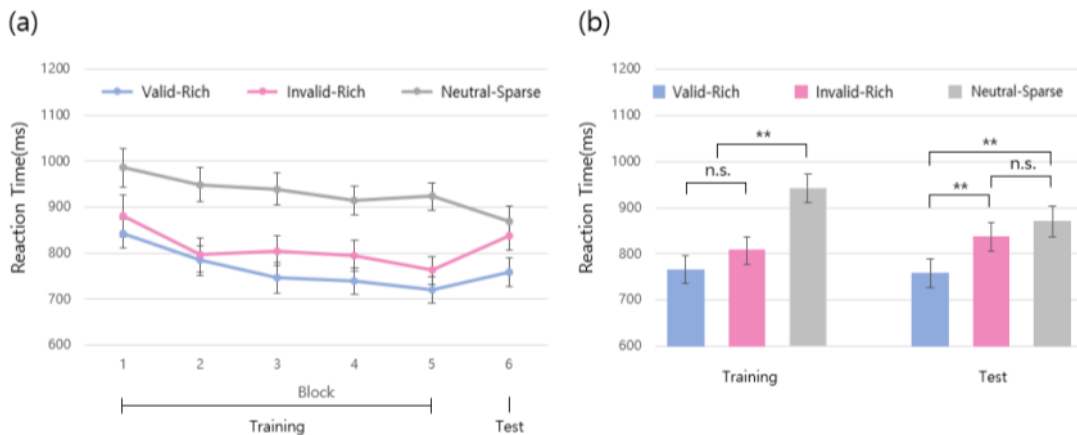


Figure 5. Results from Experiment 2. (a) Reaction times(RTs) of each probability condition by blocks. The training phase was in Block 1 to Block 5, and the test phase is Block 6. (b) RTs by probability and phase in Experiment 2. Error bars represent standard error. * $p < .05$, ** $p < .01$.

며 시간을 맥락 단서로 사용한 선행 연구들과 일치하는 결과이다. 결과적으로, 표적이 출현하는 순서를 조작함으로써 단순한 시간적 길이가 아닌 시간과 순서가 존재하는 시간적 맥락과 표적 출현 빈도의 암묵적 연합 학습이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 나아가, 비타당-고빈도 조건과 중립-저빈도 조건의 반응 시간의 차이가 유의하지 않은 결과를 통해 각 시간적 맥락에 대해서만 고빈도 사분면에 출현하는 표적에 대한 공간 주의가 편향되었음을 확인하였다. 이는 선행 연구에서 밝혀진 맥락 특정한 효과보다 훨씬 더 강력하게 시간적 맥락에 따른 위치 확률 학습이 발생하였다는 것을 의미한다. 종합해보면, 실험 2는 표적이 자주 출현하는 고빈도 사분면에 대한 위치 확률 학습을 재검증한 것과 더불어 순서를 추가적으로 조작하여 시간적 맥락을 다르게 제시함으로써 순서에 따른 시간적 맥락이 위치 확률 학습에 강력한 영향을 미친다는 것을 확인한 결과이다. 또한 선표적 조건이 후표적 조건보다 반응 시간이 빠른 것은 16개의 탐색 배열 중 하나의 표적을 찾는다는 점에서 두 조건 모두 동일하지만 선표적의 경우는 표적이 첫 번째 탐색 배열부터 존재하기 때문에 두 번째 탐색 배열의 나머지 8개의 방해자극이 추가됨에도 표적 탐색에 많은 방해가 받지 않을 가능성이 존재한다. 그러나 후표적의 경우는 첫 번째 탐색 배열에 표적이 존재하지 않기 때문에 참가자들은 탐색을 지속하다가 두 번째 탐색 배열 제시 이후 더 많은 방해자극들 중에서 표적을 탐색할 가능성이 높다고 볼 수 있다. 따라서, 선표적의 조건이 후표적 조건의 경우보다 반응 시간이 빠른 결과가 나타났다고 해석할 수 있다.

실험 3

실험 3은 시간적 길이와 순서가 혼재하고 있는 실험 2의 한계를 보완하기 위해 순서와 시간적 길이를 구분하여 실험 2의 결과가 둘 중 어느 요소에 의해 발생한 것인지를 검증해보고자 수행되었다. 이를 위해 표적이 제시되는 순서는 동일하지만 표적이 제시되는 절대적 시간의 차이가 있는 상황에서 순서와 시간적 길이에 따른 효과 크기를 비교하였다. 실험 1에서는 시간적 길이에 따라 맥락 효과가 나타나지 않았기 때문에 실험 3에서 절대적 시간보다는 순서에 따른 시간적 맥락이 공간 주의 편향을 발생시킬 것이라 예상하였다.

방 법

참가자

총 36명의 참가자가 실험을 위해 모집되었다. 그 중 먼저 35명의 참가자가 모집되었고 그 중 누락 데이터가 발생하여 1명의 참가자를 제외한 후 1명을 추가적으로 모집하였다. 연세대학교 학생 11명(남성 2명, 여성 9명)이 심리학 강의의 수강 요건을 충족하기 위하여 실험에 참가하였으며 연세대학교 홈페이지 게시판을 통해 모집된 참가자들(남성 4명, 여성 21명)은 문화상품권 10,000원을 지급받았다. 모든 참가자는 정상 또는 교정된 시력 및 정상 청력을 가지고 있었으며, 실험의 가설과 목적에 대하여 전혀 알지 못했다. 모든 참가자들은 연구 참여 전 연세대학교 생명윤리심의위원회의 절차를 통하여 승인된 사전 동의서에 서명하였다. 전체 표본의 크기는 절대적 시간의 조건이 추가됨에 따라 동일한 효과 크기를 위해 최소 35명이 요구되었다.

도구 및 자극

자극의 구현과 제시 및 반응 기록 수집에 사용된 도구는 모두 실험 1과 동일하였다. 탐색 배열에 제시되는 총 16개의 자극의 위치는 구분된 팔분면의 10개의 셀들 중 2개씩 무선적으로 선택되었으며 각 팔분면에 자극이 두 개씩 제시되었다.

설계 및 절차

총 64번의 연습 시행 이후, 본 시행은 128 시행 씩 5구획인 640 시행의 훈련 회기와 2구획인 256 시행의 검사 회기로 구성되었다. 실험 2의 두 조건(선표적, 후표적)에 첫 번째 탐색 배열의 제시 시간을 1200 ms로 늘린 두 조건을 추가하였다. 시간 길이 조건이 추가됨에 따라 저빈도 사분면을 생성하기 위해 기존에 나누어진 사분면을 팔분면으로 조정하였다. 각 조건당 표적이 자주 출현하는 고빈도 팔분면은 각각 서로 다른 팔분면에 무선적으로 지정되었다. 훈련 회기 동안 각 맥락에 따라 하나의 팔분면은 고빈도 팔분면으로 지정되었으며 나머지 7개의 팔분면은 저빈도 팔분면으로 지정되었다. 훈련 회기에서 하나의 팔분면에 표적인 T가 56.25%의 높은 확률로 출현하도록 조작하였으며, 나머지 7개의 팔분면에서는 표적이 각각 6.25%의 낮은 확률로 출현하도록 조작하였다. 팔분면을 구성하기 위해 10 × 10 격자로 이루어진 화면에서 양 대각선에 해당하는 셀은 제외하였으며, 나머지 영역에 자극이 출현하였다(그림 6 참조). 검사회기에는 모든 조건에서 각 팔분면에 표적이 동일한 확률로 제시되었다.

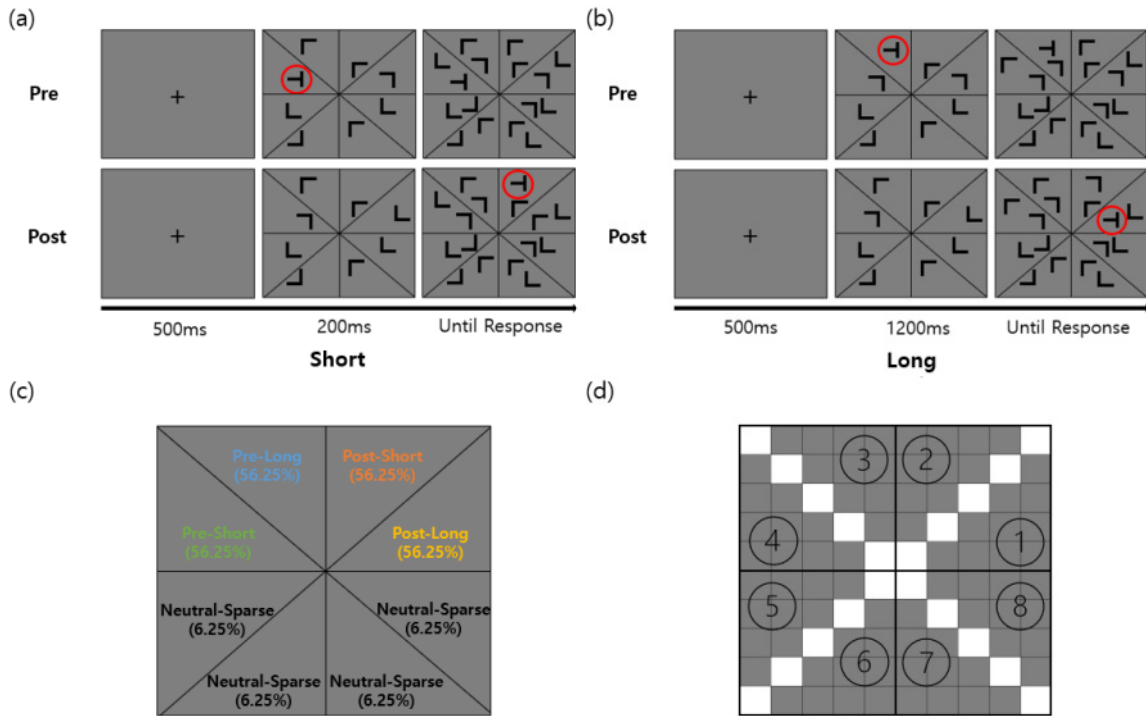


Figure 6. The procedure and schematic description of Experiment 3. In the visual search task, the eight boundaries did not appear in the experiment, nor did the red circles. (a) In a short-time context, the pre-target context presents one target and seven distractors after the fixation for 200 ms, followed by eight more distractors. In the post-target context, eight distractors are presented for 200 ms after the fixation, followed by one target and seven more distractors. (b) In a long-time context, the pre-target context is presented with one target and seven distractors after the fixation for 1200 ms, followed by eight additional distractors. In the post-target context, eight distractors are presented for 1200 ms after the fixation, followed by one target and seven more distractors. (c) Example schematic description of Experiment 3. In the short-time context with the pre-target, the upper left octal plane is a rich plane, and clockwise sequentially, the next octal plane is a rich plane in the long-time context with the pre-target. The upper right plane is a rich plane in the short-time context with post-target, and the next plane is another rich plane in the long-time context with post-target. The other four planes are “neutral-sparse” planes. (d) Eight planes were used in the Experiment 3. The order of these planes was sequentially designated from the upper right to counterclockwise. In the search display consisting of a 10 × 10 grid to construct the octal planes, the stimuli appeared in the remaining areas (gray) except for cells (white) corresponding to two diagonal lines. The following illustration is not drawn to scale and is provided for the purpose of understanding.

분석 방법

탐색 과제 이후 사후 질문을 진행한 결과, 표적이 모든 팔분면에서 동일하지 않은 확률로 제시되고 각 맥락과 연합된 고빈도 팔분면을 모두 정확하게 맞춘 참가자는 없었다. 시행제거 기준은 실험 2와 동일했다. 전체 참가자의 정확도는 98.62%(SD = 1.21%)였으며 전체 시행 중 1.04% 시행이 제거되었다.

위치 확률 학습 효과는 구획을 포함하여 순서 및 시간적 맥락과 확률을 참가자내 변인으로 설정하여 분석하였으며, 맥락 효과는 타당-고빈도와 비타당-고빈도 조건 간 반응 시간을 분석하였다. 추가로 순서와 시간의 효과 크기를 비교하기 위해 각 맥락별 확률 조건 간 비교 분석을 실시하였다.

실험 3의 비타당-고빈도 조건은 순서와 시간적 길이 조건에 따라 총 3개(비타당-다른 시간, 비타당-다른 순서, 비타

당-다른 순서시간)로 구성되었다. 먼저, 비타당-다른 시간 조건은 타당-고빈도 조건과 순서는 동일하지만 다른 시간적 길이 조건을 의미하며 비타당-다른 순서 조건은 순서는 다르지만 같은 시간 길이 조건을, 비타당-다른 순서시간 조건은 순서와 시간 길이 모두 다른 조건을 의미한다.

결 과

훈련 회기

훈련 회기의 전체 정확도는 98.66%(SD = 1.07%)였고 선편적 짧은 시간 조건의 정확도는 99.08%(SD = 0.93%), 선편적 긴 시간 조건의 정확도는 98.75%(SD = 1.25%), 후표적 짧은 시간 조건의 정확도는 98.59%(SD = 1.30%), 후표적 긴 시간 조건의 정확도는 98.19%(SD = 1.63%)였다. 순서(2; 선

표적, 후표적) × 시간(2; 짧은 시간, 긴 시간) × 확률(5; 타당-고빈도, 비타당-다른 시간, 비타당-다른 순서, 비타당-다른 순서시간, 중립-저빈도)을 참가자내 변인으로 설정하여 시각탐색 과제의 반응 시간에 대한 삼원 분산 분석(3-way repeated ANOVA)을 실시하였다. 분석 결과, 순서의 주효과가 유의하게 나타났으며, $F(1, 34) = 111.74, p < .001, n_p^2 = .77$, 시간의 주효과가 유의하게 나타났다, $F(1, 34) = 78.47, p < .001, n_p^2 = .70$. 또한 확률의 주효과가 유의하였다, $F(2.73, 92.83) = 11.88, p < .001, n_p^2 = .26$. 이외의 순서와 시간 간 이원 상호작용과 순서와 확률의 이원 상호작용, 시간과 확률의 이원 상호작용, 순서와 시간과 확률의 삼원 상호작용은 유의하지 않았다, $F(1, 34) = 1.07, p = .307, n_p^2 = .03$; $F(2.90, 98.54) = .58, p = .798, n_p^2 = .01$; $F(2.37, 80.43) = .58, p = .589, n_p^2 = .02$; $F(2.53, 86.14) = 1.05, p = .368, n_p^2 = .03$.

사후 분석 결과, 선표적 조건의 경우($M = 767.98, SD = 18.03$)가 후표적 조건의 경우($M = 879.32, SD = 20.33$)보다

유의하게 반응 시간이 빨랐으며, $t(34) = -10.57, p < .001$, 긴 시간 조건의 경우($M = 784.70, SD = 19.73$)가 짧은 시간 조건의 경우($M = 862.61, SD = 19.87$)보다 유의하게 반응 시간이 빨랐다, $t(34) = 8.86, p < .001$. 확률 조건에서 모든 고빈도 조건(타당-고빈도($M = 794.79, SD = 30.56$), 비타당-다른 시간($M = 813.08, SD = 36.15$), 비타당-다른 순서($M = 839.71, SD = 36.90$), 비타당-다른 순서시간($M = 823.09, SD = 32.73$))이 중립-저빈도 조건($M = 887.59, SD = 32.59$)보다 빨랐으며, $t(34) = -6.42, p < .001$; $t(34) = -5.15, p < .001$; $t(34) = -3.31, p = .012$; $t(34) = -4.46, p < .001$, 타당-고빈도 조건과 비타당-다른 순서 조건 간 반응 시간의 차이가 유의하였다, $t(34) = -3.11, p = .023$. 그러나, 타당-고빈도 조건과 비타당-다른 시간, 다른 순서 시간 조건 간 반응 시간 차이는 유의하지 않았다, $t(34) = -1.26, p = 1.00$; $t(34) = -1.96, p = .524$ (그림 7 참조). 이러한 결과는 훈련 회기에서 모든 순서 및 시간적 맥락 조건에서 고빈도 조건이 저빈도보다 반응 시간이 빠른 위치 확률 학습이 발생하였으며 다른 순서 조건에 대해서만 맥락 특정적 공간 주의 편향이 발생하였음을 의미한다.

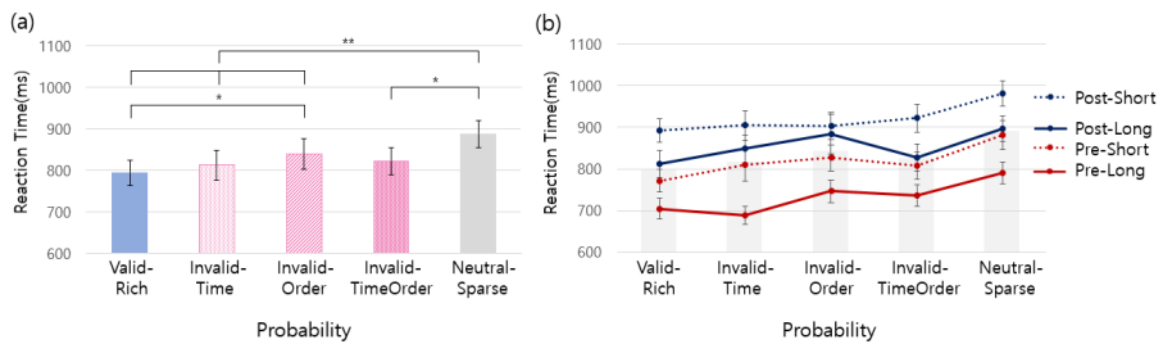


Figure 7. Results from Experiment 3 in training phase. (a) Reaction times(RTs) of each probability condition in Experiment 3. (b) RTs of each context in Experiment 3. Error bars represent standard error. * $p < .05$, ** $p < .01$.

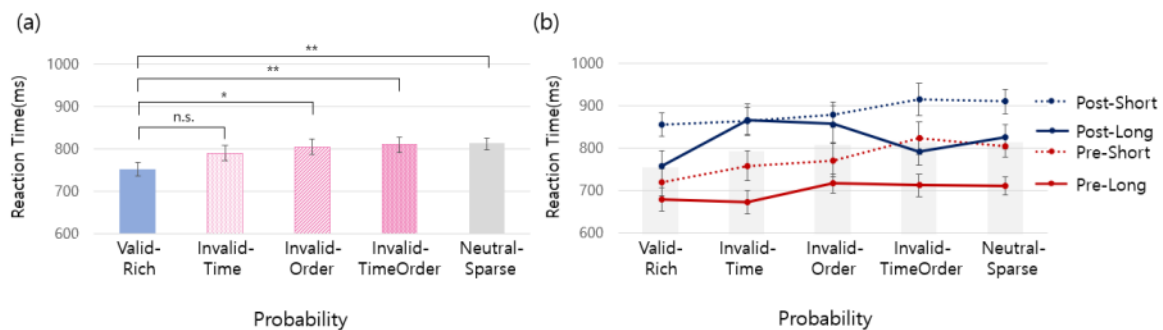


Figure 8. Results from Experiment 3 in test phase. (a) Reaction times(RTs) of each probability condition in Experiment 3. (b) RTs of each context in Experiment 3. Error bars represent standard error. * $p < .05$, ** $p < .01$.

검사 회기

검사 회기에서 팔분면에 출현하는 표적의 확률이 동일하게 조작되었다. 검사 회기에서 참가자의 전체 정확도는 98.54%($SD = 1.73\%$)였으며, 선표적 짧은 시간의 정확도는 98.67%($SD = 2.12\%$), 선표적 긴 시간의 정확도는 98.35%($SD = 2.11\%$), 후표적 짧은 시간의 정확도는 98.68%($SD = 2.31\%$), 후표적 긴 시간의 정확도는 98.46%($SD = 2.01\%$)였다. 순서(2; 선표적, 후표적) × 시간(2; 짧은 시간, 긴 시간) × 확률(5; 타당-고빈도, 비타당-다른 시간, 비타당-다른 순서, 비타당-다른 순서시간, 중립-저빈도) 조건을 참가자내 변인으로 설정하여 시각탐색 과제의 반응 시간에 대한 삼원 분산 분석(3-way repeated ANOVA)을 실시하였다. 분석 결과, 순서의 주효과가 유의하게 나타났으며, $F(1, 34) = 109.51, p < .001, n_p^2 = .76$, 시간의 주효과가 유의하게 나타났으며, $F(1, 34) = 51.10, p < .001, n_p^2 = .60$. 또한 확률의 주효과가 유의하였다, $F(4, 136) = 4.98, p < .001, n_p^2 = .13$. 이외의 순서와 시간 간 이원 상호작용과 순서와 확률의 이원 상호작용, 시간과 확률의 이원 상호작용, 순서와 시간과 확률의 삼원 상호작용은 유의하지 않았다, $F(1, 34) = .35, p = .558, n_p^2 = .01$; $F(3.194, 108.583) = 1.03, p = .386, n_p^2 = .03$; $F(2.41,$

$81.97) = 1.13, p = .055, n_p^2 = .04$; $F(1.91, 64.87) = 1.11, p = .356, n_p^2 = .03$.

사후 분석 결과, 선표적 조건($M = 746.32, SD = 15.43$)이 후표적 조건($M = 857.69, SD = 18.91$)보다 유의하게 반응 시간이 빨랐으며, $t(34) = -10.47, p < .001$, 긴 시간 조건 ($M = 750.22, SD = 20.70$)이 짧은 시간 조건($M = 805.77, SD = 23.20$)보다 유의하게 반응 시간이 빨랐다, $t(34) = 7.15, p < .001$. 확률 조건에서 타당-고빈도 조건($M = 751.90, SD = 16.60$)이 다른 순서($M = 805.13, SD = 17.90$), 다른 순서시간($M = 810.46, SD = 18.03$), 중립-저빈도 조건($M = 812.06, SD = 14.16$)보다 유의하게 반응 시간이 빨랐다, $t(34) = -3.35, p = .01$; $t(34) = -3.69, p = .003$; $t(34) = -3.79, p = .002$. 그러나, 타당-고빈도 조건과 비타당-다른 시간 조건($M = 789.92, SD = 17.97$) 간 차이는 유의하지 않았으며, $t(34) = -2.39, p = .180$, 이외의 확률 조건 간 차이는 모두 유의하지 않았다, $p = 1.00$ (그림 8 참조). 이러한 결과는 표적이 고빈도로 출현하는 영역에 대한 참가자들의 위치 확률 학습이 이루어졌으며 다른 시간을 제외한 모든 조건에 대해 맥락 특정적으로 공간 주의 편향이 발생하였음을 의미한다.

추가적으로, 실험 3의 결과에 대한 순서 및 시간 요소의 효과 크기에 대한 직접적인 비교 분석을 하기 위해 선표적

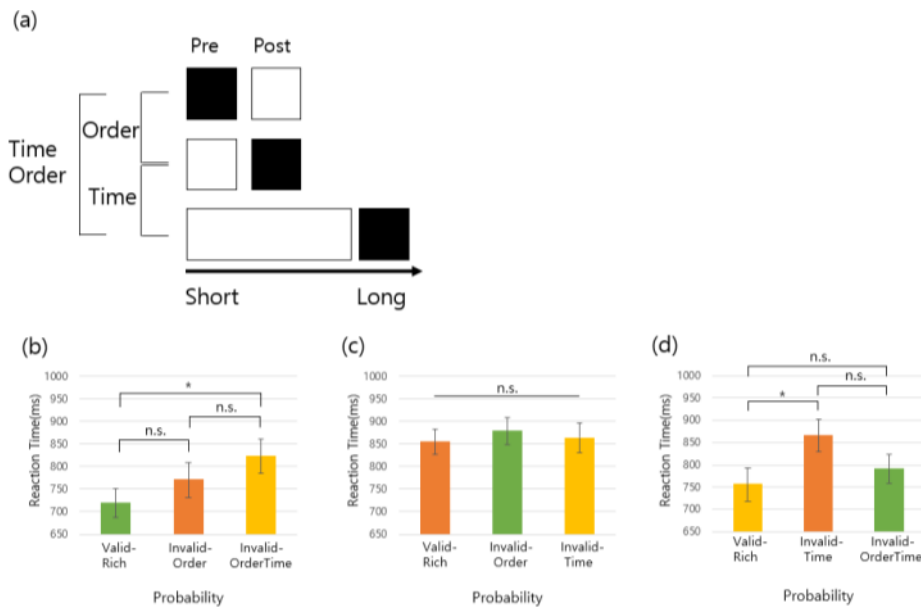


Figure 9. The procedure and results of Experiment 3, comparing the Reaction times(RTs) as a Function of Probability in Test Phase. (a) The black square means the search display when the target is presented. (b)~(d) The green bar means a pre-target in the short-time context, the orange bar means a post-target in the short-time context, and the yellow bar means a post-target in the long-time context. (b) The graph of the pre-target in the short-time context. (c) The graph of the post-target in the short-time context. (d) The graph of the post-target in the long-time context. The error bars represent standard error.

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

짧은 시간, 후표적 짧은 시간, 후표적 긴 시간 각 조건에 대해 타당-고빈도와 비타당-고빈도 조건에 대한 일원 분산 분석을 실시하였다(선표적 긴 시간 조건의 경우 첫 번째 탐색 배열이 긴 시간 동안 제시되는 조건이지만, 선표적 짧은 시간과 표적이 나타나는 시점과 차이가 발생하지 않는다. 또한 검사 회기에서 참가자들 대부분이 선표적 탐색 배열의 제시 시간인 1200 ms 이내에 표적을 탐색하였다. 이는 다른 조건과 다르게 8개의 자극들 중 하나의 표적을 찾는 것과 같은 탐색 과제를 수행했다고 볼 수 있다. 결과적으로, 검사 회기에서 각 확률 조건에 차이가 발생하지 않을 정도로 모든 확률 조건에서 탐색 속도가 빠른 천장 효과가 발생하였다. 따라서 모든 후표적 조건과 직접 비교를 위해서 선표적 조건에서는 짧은 시간 조건만 사용하여 분석에 사용하였다.). 선표적 짧은 시간 조건에서 비타당-고빈도 조건 중 다른 순서 조건은 후표적 짧은 시간, 비타당-다른 순서시간 조건은 후표적 긴 시간 조건이 된다. 시간의 효과를 알아보기 위해서는 후표적 짧은 시간과 긴 시간 조건 간 비교를 통해 확인할 수 있다. 다음으로, 후표적 짧은 시간 조건에서 비타당-다른 순서 조건은 선표적 짧은 시간, 비타당-다른 시간 조건은 후표적 긴 시간 조건이 된다. 마지막으로, 후표적 긴 시간 조건에서 비타당-다른 시간 조건은 후표적 짧은 시간이 되며, 다른 순서시간 조건은 선표적 짧은 시간 조건이 된다. 순서의 효과는 선표적 짧은 시간과 후표적 짧은 시간과의 비교를 통해 확인할 수 있다.

분석 결과, 선표적 짧은 시간 조건의 확률 조건에서 반응 시간의 차이가 유의하였다, $F(2, 68) = 3.25, p = .045, n_p^2 = .09$. 사후 분석 결과, 타당-고빈도 조건($M = 718.78, SD = 32.65$)이 비타당-다른 순서시간 조건($M = 823.54, SD = 37.86$)보다 유의하게 반응 시간이 빨랐지만, $t(34) = -2.55, p = .04$. 타당-고빈도 조건과 비타당-다른 순서($M = 770.39, SD = 38.52$)의 반응 시간 차이와 비타당-다른 순서와 비타당-다른 시간 간 반응 시간 차이는 유의하지 않았다, $t(34) = -1.26, p = .64$; $t(34) = -1.29, p = .60$. 이는 선표적 짧은 시간 조건에서는 순서와 시간이 모두 다른 맥락에 대해서 맥락 특정적으로 공간 주의 편향이 발생하였다는 것을 의미한다. 다음으로, 후표적 짧은 시간에서는 확률 조건(타당-고빈도 ($M = 854.58, SD = 27.98$), 비타당-다른 순서 ($M = 878.52, SD = 29.52$), 비타당-다른 시간($M = 863.60, SD = 32.83$)) 간 반응 시간의 차이가 유의하지 않았는데, $F(2, 68) = .27, p = .761, n_p^2 = .01$, 이는 모든 순서 및 시간 맥락에 대해 맥락 독립적으로 학습이 발생했음을 의미

한다. 마지막으로, 후표적 긴 시간 조건에서 확률 조건 간 반응 시간의 차이가 유의하였다, $F(2, 68) = 3.63, p = .033, n_p^2 = .10$. 사후 분석 결과, 타당-고빈도 조건($M = 756.39, SD = 37.77$)과 비타당-다른 시간 조건($M = 866.34, SD = 36.67$) 간 반응 시간의 차이가 유의하였지만, $t(34) = -.64, p = .031$, 타당-고빈도 조건과 비타당-다른 순서 조건($M = 791.33, SD = 32.61$) 간 차이와 비타당-다른 순서와 다른 순서시간 조건 간 차이가 유의하지 않았다, $t(34) = -.84, p = 1.000$; $t(34) = 1.80, p = .23$ (그림 9 참조). 이는 후표적 긴 시간 조건에서는 후표적 짧은 시간 조건에 대해 구분하여 학습했지만 이외의 조건에 대해서는 맥락 독립적으로 학습이 발생하였음을 의미한다.

논 의

실험 3은 시간적 맥락 내에서의 절대적 시간과 순서를 구분함으로써 각 요소가 시간적 맥락에 따른 위치 확률 학습 효과에 미치는 영향력을 알아보고자 수행되었다. 그 결과, 표적이 자주 출현하는 고빈도 팔분면에 대한 공간 주의 편향이 관찰되었으며 순서 및 시간적 맥락에 따라 확률적 지식을 각각 구분하여 학습한 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존의 위치 확률 학습 효과를 반복 검증한 결과이며, 순서 및 시간에 따라 맥락 특정적으로 공간 주의가 편향되었다는 것을 의미한다. 무엇보다, 확률 조건 간 비교 분석을 통해 실험 2에서 발견된 결과에 대해 순서와 시간적 길이의 효과 크기 차이를 확인할 수 있었다. 구체적으로, 시간의 영향력을 확인해 볼 수 있는 타당-고빈도 조건과 비타당-다른 시간 조건 간 반응 시간의 차이가 모든 조건에서 유의하지 않았기 때문에 실험 2의 결과가 순서와 시간의 상호작용에 의한 것이 아님을 확인하였다. 다음으로, 절대적 순서의 영향력을 확인할 수 있는 타당-고빈도 조건과 비타당-다른 순서 조건 간 반응 시간의 차이가 모든 조건에서 유의하였기 때문에 실험 2의 결과에서 확인한 순서의 영향력을 재검증하였다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 순서가 포함되어있는 비타당-다른 순서시간 조건과 타당-고빈도 조건 간의 유의한 차이를 관찰할 수 있었는데, 이는 순서와 시간이 모두 존재하는 다른 시간적 맥락에 대해 구분하여 학습 가능하며 공간 주의 편향이 맥락 특정적으로 발생하였음을 의미한다.

한편, 순서 및 시간적 맥락에 따른 공간 주의 편향에서 순서와 시간의 효과 크기를 직접 비교하기 위해 실시한 분석에서 선표적 짧은 시간 같은 경우는 순서와 시간이 모두 다를

경우 맥락 특정적으로 공간 주의 편향이 발생하였으며 후표적 긴 시간 같은 경우는 시간이 다를 때 맥락 특정적으로 공간 주의 편향이 발생하였다. 그러나, 후표적 짧은 시간 같은 경우는 조건 간 유의한 차이가 발생하지 않았으므로 효과 크기를 비교할 수 없었다. 이러한 결과를 봤을 때, 각 조건마다 순서 및 시간이 미치는 영향이 상이하며 각 요소의 효과 크기가 일관되게 나타나지 않았음을 의미한다. 이러한 결과가 발생한 원인 중 하나는 조건 간 비교에서 선표적 조건 내 차이에 의한 영향일 수 있다. 검사 회기의 순서 및 시간적 맥락에 따른 각 확률 조건의 반응 시간 그래프를 보면, 후표적 짧은 시간 조건과 긴 시간 조건은 선표적 짧은 시간에 대해서는 맥락 독립적 학습을 하는 것처럼 보이지만 선표적 긴 시간 조건에 대해서는 맥락 특정적 학습을 보이는 것처럼 보인다(그림 8b 참조). 이는 검사 회기에서 실시한 삼원 분산 분석에서 통계적으로 유의하지는 않지만 수치상 선표적 짧은 시간과 긴 시간 두 조건에 해당하는 고빈도 팔분면에 대한 참가자들의 반응 시간의 차이가 다른 것을 통해 알 수 있다. 선표적 짧은 시간, 선표적 긴 시간 모두 표적이 첫 번째부터 제시된다는 점에서는 동일하지만 두 번째 탐색 배열이 등장하기까지의 시간이 다르기 때문에 참가자들은 두 조건을 다르게 인식했을 가능성이 존재한다. 따라서, 직접 비교를 위해 분석에서는 선표적 짧은 시간 조건을 사용하였지만, 모든 후표적 조건에서 선표적 긴 시간 조건과 반응 시간의 차이가 수치상 유의하였기 때문에 순서 효과가 여전히 존재한다고 해석할 수 있다. 결과적으로, 효과 크기 분석에서 후표적 긴 시간 조건에서의 시간의 영향력을 완전히 배제할 수는 없지만 선표적과 후표적 조건 간 차이가 여전히 존재하기 때문에 순서의 영향력은 일관된다고 볼 수 있다. 추후 시간과 순서에 효과 크기 비교에 대한 일관된 결과를 위해 보완 연구가 필요하다고 생각된다.

종합해보자면, 실험 3을 통해 순서 및 시간에 의한 시간적 맥락 내에 존재하는 각 요소의 절대적 효과의 크기를 비교함으로써 순서의 영향력을 재확인하였으며, 맥락 특정적으로 순서 및 시간이 존재하는 고빈도 위치 간 연합 학습이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 실험 1과 2의 결과 모두를 반복 검증하였다고 할 수 있다. 효과 크기 비교에서는 순서 및 시간적 맥락 정보가 각 조건에 따라 상이하게 암묵적으로 습득되는 것이 관찰되었다. 후표적 긴 시간 조건에서의 시간의 영향이 존재하지만 선표적 긴 시간과 모든 후표적 조건 간 반응 시간의 차이가 존재하기 때문에, 순서의 영향력은 여전히 강력하다고 볼 수 있다.

마지막으로, 선표적의 조건이 후표적의 조건보다 반응 시

간이 빠른 것을 확인할 수 있었는데, 이러한 결과는 선표적 짧은 시간과 긴 시간 조건의 차이에서 발생하는 두 가지 원인으로 해석될 수 있다. 먼저, 선표적 짧은 시간이 후표적 짧은 시간보다 빠른 것은 실험 2의 결과 해석과 동일하다고 볼 수 있으며 선표적 긴 시간 조건 같은 경우, 참가자들 대부분의 탐색 수행이 1000 ms 이내였기 때문에 두 번째 탐색 배열이 나타나기 이전 8개의 자극들 중 하나의 표적을 찾는 것과 같은 과제를 수행하였다고 볼 수 있다. 결합 탐색 과제에서는 자극의 개수가 적어질수록 탐색 속도가 빨라지기 때문에 결과적으로 선표적 긴 시간에서 참가자들이 다른 조건보다 빠른 수행을 보였다고 해석할 수 있다(Wolfe et al., 1989). 한편, 긴 시간 조건이 짧은 시간 조건보다 반응 시간이 빠른 것은 앞서 언급한 선표적 긴 시간의 빠른 탐색 수행에 더해 후표적 긴 시간 조건이 실험 1과 동일하게 일반적인 시간적 기대감(temporal expectancy)에 의한 결과라고 해석할 수 있다.

종합논의

본 연구의 목적은 위치 확률 학습 패러다임을 사용하여 다양한 시간적 맥락이 암묵적으로 학습되며 이 학습의 결과가 맥락 특정적인 방식으로 공간 주의를 유연하게 편향시킬 수 있는지 알아보고자 진행되었다. 맥락에 따른 공간 주의 편향의 가능 여부에 관한 연구는 상반된 입장이 존재한다. 일부 연구자들은 맥락에 따른 연합 학습이 불가능하다고 주장하며(Ahn & Kim, 2017; Won & Jiang, 2015), 또 다른 한편에서는 과제 관련성이 높은 경우 또는 시간적 맥락에 따른 공간 주의 편향이 가능하다고 주장한다(Hong et al., 2020; Wagnier & Hoffmann 2010; Xu et al., 2021, 2023). 이에 대해 본 연구를 통해 전형적인 위치 확률 학습 패러다임을 사용한 시각적 자극의 결합 탐색 과제에서는 맥락에 따른 표적에 대한 위치 확률 학습이 과제 관련성이 없는 상황일지라도 순서에 의한 시간적 맥락에 따라 공간 주의 편향이 유연하게 변화한다는 것을 확인할 수 있었다.

표적이 자주 출현하는 고빈도 사분면 또는 팔분면은 확률에 의해 조작되었으며, 각각의 맥락은 하나의 사분면 또는 팔분면과 연합되어 서로 다른 맥락에 따라 표적이 자주 출현하는 확률을 가진 다른 위치로 지정되었다. 실험 1에서 시간적 맥락(짧거나 긴 시간 간격)에 따라 맥락 독립적으로 공간 주의가 편향되었다는 것을 확인하였으며, 실험 2에서는 시간적 길이에 순서를 더한 시간적 맥락에 의한 탐색 과제를 수행할 때 공간 주의가 맥락 특정적으로 편향된다는 것을 확인

하였다. 실험 3은 실험 2에서 순서에 의한 시공간 규칙성을 학습하여 탐색 이득이 발생한 결과에 대해 순서의 영향력이 일관되게 강력하다는 것을 반복 검증하였다. 이러한 실험 결과는 시각탐색 과제에서 순서 및 시간 길이에 따른 위치 확률 학습이 시간의 여러 속성들에 따라 다르게 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

본 연구의 맥락 특정적 혹은 독립적으로 밝혀진 모든 실험 결과는 통계적 규칙에 대한 학습이 참가자들의 외현적 지식에 의한 것은 아니라고 할 수 있다. 모든 참가자들은 사전에 확률의 조작 또는 시간적 맥락에 대해 의식적으로 알지 못하였으며 규칙을 안 참가자는 분석에서 모두 제외하였다. 즉, 본 실험에서 밝혀진 위치 확률 학습은 모두 우연적이고 암묵적인 방식으로 형성되었다고 할 수 있다.

본 연구에서 밝혀진 위치 확률 학습 효과가 단순히 위치 점화 효과(priming effect)로 인한 것인지를 알아보기 위해, 표적이 동일 사분면에 반복해서 제시되는 시행들을 제거하여 추가적 분석을 수행하였으며, 분석 결과 위 실험에서 발견된 주요 결과와 다르지 않음을 확인하였다. 즉, 본 연구에서 나타난 위치 확률 학습은 단순한 시행 간 점화 효과에 의한 것은 아니라고 할 수 있다. 또한 고빈도 사분면이 서로 공간적으로 맞닿아 있는 경우와 중앙점을 기준으로 대칭인 경우 참가자들의 수행 차이가 존재하는지를 실험 1과 2에서 추가적으로 분석하였으나, 이 역시 조건별로 상이하지 않는 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에서 실험 1의 결과는 시간적 맥락에 따라 위치가 연합되어 높은 확률로 출현하는 자극에 대한 식별과 표적 탐색 및 방해자극 억제가 가능하다고 밝힌 연구들(Wagner & Hoffmann, 2010; Xu et al., 2021, 2023)과는 반대되는 결과이다. 이러한 차이는 첫째, 실험에 사용한 과제의 차이에 기인한 결과일 수 있다. 선행 연구에서는 방해자극이 없는 상황에서의 모양 식별 과제나 모양이 다른 표적을 찾아야 하는 단독자(singleton) 탐색 과제가 사용되었는데, 본 연구에서 방해자극들이 더 많아진 상황에서 결합 자극을 찾는 결합 및 계열 탐색 과제(conjunction, serial search)가 사용되었다. 선행연구에 의하면, 시행 간 위치 규칙성이 존재하는 과제에서 단독자 탐색 과제에서는 규칙에 대한 학습이 발생하지만, 결합 및 계열 탐색 과제에서는 발생하지 않는 것을 확인한 바 있다(Li et al., 2022). 결과적으로, 이와 같은 과제 차이로 인해 시간적 맥락 정보와 공간 정보를 연합하는 참가자들의 학습 차이가 발생할 가능성이 있다.

다음으로 맥락 특정적 학습은 일반적으로 맥락이 과제에

능동적으로 처리될 때 학습이 가능하다고 할 수 있다(Frensch & Rüniger, 2003). 스트룹(stroop) 과제를 사용한 Crump 등(2006, 2008)의 연구나 Hong 등(2020)의 연구를 보면 모양 특정적 정보 혹은 색 맥락이 과제에 사용할 수 있는지 여부에 따라 주의 할당의 차이로 인해 인지적 유연성이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 그런데 선행 연구에서 사용된 모양 식별 과제에서 각 시간적 맥락은 두 개의 모양 자극에 각각 연합되기 때문에 모양에 대한 식별 자체가 시간적 맥락과 쉽게 연합될 수 있다고 할 수 있다. 또한 단독자 탐색 과제에서 방해자극을 억제하는 과정은 그 자체로 방해자극에 대한 자동적 주의 할당이 가능하기 때문에(Wang & Theeuwes, 2018), 시간적 맥락이 방해자극과 연합되었을 때, 맥락에 따라 자동적으로 주의 편향이 발생한다고 할 수 있다. 그러나 실험 1은 많은 방해자극들(15개) 사이에서 표적을 탐색하기 때문에 시간적 맥락보다는 과제 자체에 주의를 할당함으로써 시간적 맥락이 능동적으로 처리되지 못했을 가능성이 있다.

셋째, 표적의 특정 위치가 정해지지 않아 시간적 맥락과 위치 간 암묵적 학습이 어려웠을 가능성이 존재한다. 선행 연구들은 시간적 맥락에 따라 높은 확률로 표적이 나타나는 위치가 좌/우 또는 6개 중 2곳으로 특정되었지만, 실험 1에서 사용된 고빈도 조건에 해당하는 표적의 위치는 하나의 위치에 고정된 것이 아니라 특정 사분면 안에서 매 시행 무선적으로 변화하였으며, 따라서 맥락에 따른 위치 학습이 더 어려웠을 가능성이 존재한다.

마지막으로, 본 실험의 과제가 표적 탐색 과제이기 때문에 표적의 출현 빈도 정보는 과제를 수행하는 유용한 단서로 사용되었지만, 시간적 길이라는 맥락 정보는 과제에서 중요한 단서로서 사용되지 않았을 수 있다. 덧붙여 시간적 길이만으로는 과제를 수행하는데 있어 충분한 시간적 단서로서의 역할을 하지 못했을 가능성이 존재한다. 따라서 시간적 맥락에 순서라는 요소를 추가함으로써 두 개의 탐색 화면이 제시되어 시간적 맥락을 과제를 수행하는데 충분한 단서로 만든다면 시간적 맥락에 따라 공간 주의 편향이 발생할 것으로 예상하였다. 결과적으로, 실험 2에서 시간적 맥락 정보에 순서를 추가함으로써 순서에 따른 시간적 맥락에 따라 공간 주의 편향이 변화한다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 맥락 생성을 위해 제시되는 두 개의 이벤트를 통해 참가자들의 시간과 순서 감각이 높아져 형성된 시간적 맥락에 따라 맥락 특정적으로 공간 주의가 발생한 것으로 해석할 수 있다.

나아가, 실험 3의 결과는 선행연구(Boettcher et al., 2022)에서 밝혀진 시퀀스(sequence)에 따른 시공간 연합 규칙성에

대해 시간과 순서를 구분하여 개별 요소의 효과를 비교하고 순서의 중요성을 밝힐 수 있었다는 점에서 의의가 있다. 아직까지 전형적인 위치 확률 학습 패러다임을 사용한 과제에서 순서 및 시간적 맥락을 포함한 네 개의 맥락에 따라 맥락 특정적 학습이 가능한지 알아본 연구는 부재하다. 실험 3에서 참가자들이 학습해야 하는 맥락이 네 개로 증가하여 각 맥락에 따라 표적이 자주 출현하는 위치를 연합시키는 것이 어려웠을 가능성이 존재한다. 그럼에도 불구하고 무선적으로 선택된 영역에 표적이 빈번하게 출현하는 네 개의 팔분면으로 맥락 특정적으로 공간 주의가 편향된 사실은 참가자들이 네 개의 맥락을 순서라는 요소에 의해 구분하여 학습하였다는 사실을 의미한다. 이는 단일 시행 내에 존재하는 시공간 규칙에 대해서도 참가자들이 구분하여 학습할 수 있음을 시사한다.

한편, 실험 2와 실험 3에서 일관되게 검사 회기에서 맥락 특정적인 위치 확률 학습의 결과가 나타나는 것은 학습의 공고화(consolidation)가 시간적 맥락에 따른 과제에서는 더 장기적인 학습 시간을 필요로 하거나 확률 정보가 사라짐에 따라 훈련 회기에서는 사용하지 않았던 맥락에 따른 학습을 검사 회기에서 사용한 것으로 볼 수 있다. 보통 위치 확률 학습은 비교적 적은 수의 시행의 누적만으로도 빠르게 형성되지만(Salovich et al., 2018) 실험 2, 3의 맥락 특정적 학습은 고빈도로 출현하는 표적에 대한 공간 주의 편향뿐만 아니라 맥락 간 학습이 필요하기 때문에 더 많은 시행이 필요할 수 있다. 또는 참가자들이 맥락 특정적으로 학습했더라도 훈련 회기에서 지속적으로 표적이 고빈도로 출현하기 때문에 맥락 구분없이 표적의 빈도 정보만을 사용해서 효율적으로 탐색 수행을 했을 가능성이 있다. 그러나, 검사 회기에서는 모두 동일한 확률로 표적이 출현하기 때문에 표적의 빈도 정보가 아닌 맥락에 따른 학습 전략을 사용할 가능성이 존재한다. 짧은 훈련 회기에 이어 검사회기를 실시하거나 검사회기의 시행을 증가한 추가 실험을 통해 그 원인을 확인해볼 수 있을 것이다.

무엇보다 본 연구의 결과는 Hong 등의 연구(2020)와 달리 참가자들이 과제를 수행함에 있어 주어진 맥락 정보를 반드시 사용하지 않음에도 시간이라는 속성을 위치 확률과 연합하여 암묵적으로 학습할 수 있음을 확인한 결과이다. 우리가 살아가는 물리적 세계는 항상 시간과 공간이 공존하며, 많은 시공간 선행 연구들을 통해 시간과 공간의 속성이 비슷할 뿐 아니라 공간 정보를 습득하는데 과제와 관련이 없는 시간적 정보가 부수적으로 얻어진다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 다른 속성들과는 달리 시간의 차원이 공간 차원과 특별

하게 연합되어 탐색 이득을 발생시키는 하나의 중요한 속성이라고 설명할 수 있다.

마지막으로, 본 연구는 위치 확률 학습 패러다임을 사용한 시각탐색 과제 내에서의 시간적 기대감과 더불어 순서를 포함함으로써 다양한 시간적 속성이 공간 주의 편향에 미치는 영향에 대해 알아보았다는 점에서 차별성을 갖는다. 일상생활에서 시각적 자극에 대한 정보를 처리할 때 우리가 가지고 있는 시간 정보의 중요성은 상황에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 정지된 풍경이나 사진 등을 처리할 때는 시간보다는 공간 정보가 더 우선시되지만, 움직이는 물체에 대한 정보는 움직임(motion)을 지각해야 하기 때문에 변화에 민감한 처리가 필요하며 시간과 공간의 정보가 모두 중요해진다고 볼 수 있다. 이러한 사실은 본 연구의 실험 1에서 응시점 이후 변화가 없는 탐색 배열에서는 공간 정보만 습득되지만, 실험 2, 3에서 두 번의 이벤트들로 인해 변화하는 환경 속에서는 순서라는 시간 정보를 통해 맥락에 따라 공간 주의가 유연하게 변화된다는 결과와도 일맥상통한다. 결과적으로, 본 연구는 선행 연구들과 달리 변화하는 환경 속에서의 인간의 시각 정보 처리 과정에 초점을 맞추어 시간적 맥락 내에 존재하는 순서라는 요소에 따라 어떻게 인간의 주의가 유도되고 공간의 규칙성과 연합하여 탐색의 효율성을 높일 수 있는지 알아본 연구라는 점에서 그 중요성을 지닌다.

References

- Ahn, S., & Kim, M.-S. (2017, January). Effect of change in target identity on contextual cueing. Talk presented at 54th Annual Meeting of Korean Society for Cognitive & Biological Psychology, Busan, Korea.
- 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.
- Boettcher, S. E., Shalev, N., Wolfe, J. M., & Nobre, A. C. (2022). Right place, right time: Spatiotemporal predictions guide attention in dynamic visual search. *Journal of Experimental Psychology: General*, 151(2), 348-362.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433-436.
<https://doi.org/10.1163/156856897X00357>
- Brascamp, J. W., Pels, E., & Kristjánsson, Á. (2011). Priming of pop-out on multiple time scales during visual search. *Vision Research*, 51, 1972-1978. <https://doi.org/10.1016/j.visres>.
- Crump, M. J. C., Gong, Z., & Milliken, B. (2006). The

- context-specific proportion congruent Stroop effect: Location as a contextual cue. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*, 316-321. <https://doi.org/10.3758/BF03193850>
- Crump, M. J. C., Vaquero, J. M. M., & Milliken, B. (2008). Context specific learning and control: The roles of awareness, task relevance, and relative salience. *Consciousness and Cognition*, *17*, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.01.004>
- Druker, M., & Anderson, B. (2010). Spatial probability aids visual stimulus discrimination. *Frontiers in Human Neuroscience*, *4*(August), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00063>
- 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*, 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Frensch, P. A., & Runger, D. (2003). Implicit learning. *Current Directions in Psychological Science*, *12*, 13-18. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01213>
- Geng, J. J., & Behrmann, M. (2002). Probability cuing of target location facilitates visual search implicitly in normal participants and patients with hemispatial neglect. *Psychological Science*, *13*(6), 520-525. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00491>
- Geng, J. J., & Behrmann, M. (2005). Spatial probability as an attentional cue in visual search. *Perception & Psychophysics*, *67*(7), 1252-1268. <https://doi.org/10.3758/bf03193557>
- Heuer, A., & Rolfs, M. (2021). Incidental encoding of visual information in temporal reference frames in working memory. *Cognition*, *207*, 104526.
- Heuer, A., & Rolfs, M. (2023). Temporal and spatial reference frames in visual working memory are defined by ordinal and relational properties. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *49*(9), 1361.
- 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.
- JASP Team (2021). JASP (Version 0.16.0)[Computer software]. <https://jasp-stats.org/>.
- Jiang, Y. V., & Swallow, K. M. (2014). Changing viewer perspectives reveals constraints to implicit visual statistical learning. *Journal of Vision*, *14*, 1-16. <https://doi.org/10.1167/14.12.3>
- Jiang, Y. V., Swallow, K. M., Rosenbaum, G. M., & Herzig, C. (2013). Rapid acquisition but slow extinction of an attentional bias in space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *39*(1), 87-99. <https://doi.org/10.1037/a0027611>
- Jiang, Y. V., Swallow, K. M., Won, B.-Y., Cistera, J. D., & Rosenbaum, G. M. (2015). Task specificity of attention training: The case of probability cuing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *77*, 50-66. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0747-7>
- Li, A. S., Bogaerts, L., & Theeuwes, J. (2022). Statistical learning of across-trial regularities during serial search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *48*(3), 262-274.
- Los, S. A., Kruijne, W., & Meeter, M. (2014). Outlines of a multiple trace theory of temporal preparation. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1058.
- Nobre, A. C., & Rohenkohl, G. (2014). Time for the fourth dimension in attention. In A. C. Nobre & S. Kastner (Eds.), *The Oxford handbook of attention* (pp. 676-721). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199675111.001.0001>
- Nobre, A. C., & van Ede, F. (2018). Anticipated moments: Temporal structure in attention. *Nature Reviews Neuroscience*, *19*(1), 34-48. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.141>
- Olson, I. R., & Chun, M. M. (2001). Temporal contextual cuing of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *27*(5), 1299-1313. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.27.5.1299>
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, *10*, 437-442. <https://doi.org/10.1163/156856897X00366>
- Salovich, N. A., Remington, R. W., & Jiang, Y. V. (2018). Acquisition of habitual visual attention and transfer to related tasks. *Psychonomic Bulletin and Review*, *25*, 1052-1058. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1341-5>
- Theeuwes, J. (2019). Goal-driven, stimulus-driven, and history-driven selection., *29*, 97-101. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.12.024>
- Wagener, A., & Hoffmann, J. (2010). Temporal cueing of target-identity and target-location. *Experimental Psychology*,

- 57(6), 436-445. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000054>
- Wang, B., & Theeuwes, J. (2018). How to inhibit a distractor location? Statistical learning versus active, top-down suppression. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(4), 860-870.
- Wang, B., van Driel, J., Ort, E., & Theeuwes, J. (2019). Anticipatory distractor suppression elicited by statistical regularities in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(10), 1535-1548.
https://doi.org/10.1162/jocn_a_01433
- Wendt, M., & Kiesel, A. (2011). Conflict adaptation in time: Foreperiods as contextual cues for attentional adjustment. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(5), 910-916.
<https://doi.org/10.3758/s13423-011-0119-4>
- 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), 419-433.
- Won, B. Y., & Jiang, Y. V. (2015). Spatial working memory interferes with explicit, but not probabilistic cuing of spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(3), 787-806.
- Xu, Z., Los, S. A., & Theeuwes, J. (2021). Attentional suppression in time and space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 47(8), 1056-1062.
- Xu, Z., Theeuwes, J., & Los, S. A. (2023). Statistical learning of spatiotemporal regularities dynamically guides visual attention across space. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 85(4), 1054-1072.

시각탐색에서 시간적 맥락에 따른 위치 확률 학습

김윤경¹, 김민식¹

¹연세대학교 심리학과

위치 확률 학습(Location probability learning) 효과란 시각탐색 시 표적이 특정 위치에 빈번하게 출현할 때 해당 위치로의 공간 주의가 편향됨으로써 탐색이 빨라지는 현상을 일컫는다(Jiang et al., 2013). 본 연구는 결합(conjunction) 탐색에서 시간적 맥락에 따라 공간 주의가 유연하게 편향되는지 알아보고자 수행되었다. 실험 1에서 표적은 응시점 이후 시간적 맥락(300 ms / 1300 ms)에 따라 두 개의 특정 사분면에서 높은 빈도로 출현하였다. 실험 1의 결과, 맥락과 상관없이 공간 주의가 두 개의 고빈도 사분면으로 편향되었다. 실험 2에서는 시간적 맥락을 강화하여 표적이 첫 번째 또는 두 번째 탐색 화면부터 제시되었으며 그 결과, 맥락 특정한 공간 주의 편향이 관찰되었다. 실험 3은 실험 2에 혼입되어있는 순서와 길이의 효과 크기 비교를 통해 순서의 영향력을 재확인하였다. 본 결과는 위치 확률 학습에서 탐색 화면이 시간적 순서(temporal order) 정보를 지닐 때 강력한 시간적 맥락으로 사용되며, 시공간이 존재하는 역동적 환경에서 인간의 학습 기전에 시간적 맥락이 작동하는 방식에 대한 새로운 통찰을 제공하고 있다.

주제어: 시간적 맥락, 위치 확률 학습, 공간 주의 편향, 시각탐색