

참조 배경의 유무에 따른 망막위상좌표와 공간위상좌표에서의 공간적 주의할당 검증

김 덕 중 김 신 우 이 형 철[†]

광운대학교 산업심리학과

본 연구는 공간적 주의할당에 근거하는 좌표가 무엇인지를 검증하였다. 망막상의 상대적인 위치에 근거한 공간좌표를 망막위상(retinotopic) 좌표라고 하고, 외부세계의 객관적인 공간위치에 근거한 좌표를 공간위상(spatiotopic) 좌표라고 한다. Golomb, Chun과 Mazer(2008)은 공간적 주의할당에서 이 두 가지 좌표를 비교하는 연구를 수행하여, 시각정보처리 초기에는 망막위상좌표가 주의할당의 근거가 되며 공간위상좌표는 망막 위상좌표의 정보가 업데이트 된 후에 사용된다고 제안하였다. 하지만 이러한 해석은 자극이 점 또는 선으로만 이루어진 인공적인 환경에서의 실험결과에 근거한 것으로 일상적인 배경정보가 없었기 때문에 망막 위상좌표에 근거한 주의할당이 더 용이한 실험환경이었다. 본 연구에서는 공간위상좌표를 획득할 수 있는 배경을 추가로 제시하면 이를 참조하여 공간적 주의할당이 이루어질 것이라는 가설을 검증하였다. 실험 1에서는 Golomb 등이 사용한 자극을 이용하여 기존결과를 재검증 하였고, 실험 2에서는 실험 1과 동일한 자극에 배경을 추가함으로써 배경을 참조틀로 삼아 공간적 주의할당을 할 수 있도록 구성하였다. 실험 1과 2의 결과를 비교하여 참조배경의 유무에 따른 망막 및 공간위상좌표에서의 공간적 주의할당을 검증하였다. 그 결과 기존 결과와 달리 망막위상좌표에 근거한 공간적 주의할당의 촉진효과가 사라졌으며 이는 기존 연구가 망막위상좌표에 유리한 환경에서 밝혀진 결과이며, 배경이 존재하면 이를 빠르게 참조하여 공간적 주의가 할당될 수 있음을 보여준다.

주제어 : 공간적 주의, 공간위상좌표, 망막위상좌표

[†] 교신저자 : 이형철, 광운대학교 산업심리학과, (139-701) 서울시 노원구 월계동 447-1 한울관 105호

E-mail : hyung@kw.ac.kr

인간이 한 번에 받아들일 수 있는 정보의 용량에는 한계가 있는데, 외부세계에 존재하는 정보를 한정된 처리 용량으로 처리하기 위해 인간 정보처리 시스템은 중요한 정보만을 선택적으로 처리하는 ‘선택적주의(selective attention)’ 시각 메커니즘을 진화시켰다. 외부의 특정 공간에 주의를 할당하는 것을 ‘공간적 주의(spatial attention)’ 라고 하며, 현재 응시하는 곳 이외에 효율적으로 주의를 할당하기 위해 도약 눈 운동(saccadic eye movement)을 사용한다. 눈 운동과 공간적 주의의 관계에 대해서는 이미 많은 연구들이 진행되었다. 눈 운동을 유도하면 눈 운동 목표자극(target)에 대한 시각처리가 향상되며(Bisley & Goldberg, 2003; Gersch, Kowler, & Doshier, 2004; Hoffman & Subramaniam, 1995; Irwin & Gordon, 1998; Van der Stigchel & Theeuwes, 2005), 눈 운동을 수행할 때 나타나는 뇌에서의 발화패턴은 내현적 주의(covert attention)가 주어질 때 나타나는 발화패턴과 유사하다(Corbetta et al., 1998; Eimer, Van Velzen, Gherri, & Press, 2007; Nobre, Gitelman, Dias, & Mesulam, 2000; Schall, 2004).

정보를 수집하기 위해 눈 운동을 시행함으로써 야기되는 시각 메커니즘이 해결해야 할 문제가 있다. 눈 운동에 수반되는 응시점의 변화에 따라 망막상에서 얻을 수 있는 정보, 즉 망막정보가 변화하는데 불안정한 망막 정보에 근거해서 안정적인 외부세계를 표상해야 하는 문제가 있다. 인간은 눈 운동 여부와 관계없이 외부 세계에 대한 안정적인 지각이 가능하고, 눈 운동과 함께 특정 공간에 주의를 할당할 수도 있다. 불안정한 망막 정보에 근거해서 특정 공간에 안정적으로 주의를 할당하기 위

해서는 심적인 공간, 즉 공간 좌표에 대한 개념을 가지고 있어야 한다. 망막상으로부터 직접 획득되는 망막 공간에서의 좌표를 망막위상(retinotopic)좌표라고 하며, 망막상이 아니라 실제로 외부 세계의 공간에 대한 표상에 근거하여 구성되는 좌표를 공간위상(spatiotopic)좌표라고 한다. 특정 시점 t_1 과 일정한 시간이 흐른 t_2 시점에 눈 운동이 없다면 망막위상좌표와 공간위상좌표는 구별되지 않는다. 하지만 t_1 시점에 외부 세계의 한 공간 A에 응시하고 있다가 t_2 시점에 다른 공간 B로 도약 눈 운동을 하게 되는 경우에 망막위상좌표에서 A와 B는 동일한 좌표를 갖지만 공간위상좌표에서 A와 B는 상이한 좌표를 갖는다. 망막위상좌표에서 시점 t_1 과 t_2 에서 A의 좌표와 B의 좌표는 구별되지 않지만 공간위상좌표에서 A의 좌표와 B의 좌표는 구별되는데, 눈 운동에도 불구하고 외부세계의 공간적 속성을 안정적으로 지각할 수 있는 것은 아마도 시각 시스템이 공간위상좌표를 성공적으로 이용하기 때문일 것이다.

눈 운동에도 불구하고 외부세계의 공간적 속성을 안정적으로 지각하는 이유는 망막위상좌표를 공간위상좌표로 변환하는, ‘리맵핑(remapping)’이라는 과정이 있기 때문이다 (Cavanagh, Hunt, Afraz, & Rolfs, 2010). Duhamel, Colby와 Goldberg(1992)는 눈 운동을 통하여 획득하는 시각 입력 정보를 지속적으로 리맵핑하는 뉴런이 있으며 이로 인해 안정적인 지각이 가능하다고 제안하였다. Melcher와 Morrone (2003)은 ‘리맵핑’ 대신에 ‘통합(integrate)’이라는 단어를 사용하였는데, 통합이 MT(V5)에서 일어날 가능성을 제시하였다. Merriam, Genovese와 Colby(2007)는 눈 운동 중에도 우리

의 시각 메카니즘이 망막상의 이미지 정보를 업데이트함으로써 외부세계를 안정적으로 지각한다고 제안하였다. 특히 fMRI 측정을 통해 눈 운동에 의해 유발되는 시각 표상의 업데이트가 이론적으로만 존재하는 것이 아니라 시지각과 직접적으로 연결된 선조외측 피질 영역의 V3A, hV4 부위에 실제로 존재할 가능성을 제시하였다. 이 외에도 다양한 연구들이 리맵핑을 통한 안정적인 지각과 이와 관련된 눈 운동 및 공간적 주의 할당에 대해 진행되었다(Kusunoki & Goldberg, 2003; Merriam, Genovese, & Colby, 2003; Nakamura & Colby, 2002; Sommer & Wurtz, 2006).

눈 운동과 관련된 공간적 주의 할당에 대한 연구와 함께 눈 운동 동안에 발생하는 리맵핑 과정에 대한 연구가 다수 존재함에도 불구하고 공간적 주의를 할당할 때 우리 시각 시스템이 기본적으로 사용하는 좌표는 어떤 좌표 일까에 대한 연구는 소수에 불과하다. Golomb, Chun 그리고 Mazer(2008)는 이 문제에 직접적으로 답할 수 있는 연구를 수행하였다. 이들의 연구는 작업 기억 과제를 수행하는 도중에는 시각 자극이 없어도 특정 위치에 공간적 주의를 유지할 수 있는 기존연구(Awh, Jonides, & Reuter Lorenz, 1998; Kastner & Ungerleider, 2000; Kastner et al., 2007)에서 사용한 실험 패러다임을 이용하였다. 눈 운동이 없는 실험상황에서는 참가자들이 과제 수행을 위해 망막 위상좌표를 사용하였는지 공간위상좌표를 사용하였는지 구별하는 것이 가능하지 않다. Golomb 등은 실험 참가자로 하여금 눈을 응시점에 고정하게 하고 아주 짧은 시간 동안만 제시되는 단서자극이 나온 위치를 기억하게

하는 과제를 수행하게 하였다. 그리고 기억과제를 수행하는 도중에 응시점을 이동시켜 도약 눈 운동을 하게 함으로써 단서자극이 나온 위치가 망막위상좌표와 공간위상좌표에서 구별이 가능하도록 하였다. 세 가지 위치(망막위상좌표에 해당하는 위치, 공간위상좌표에 해당하는 위치, 두 위상 좌표에서와 같은 동일한 이심률을 가지는 통제조건 위치)에 제시되는 탐색자극인 대각선의 방향을 보고하는 과제를 추가로 수행하게 하면서 반응시간 및 반응 정확도를 분석하였다. 실험은 두 개로 나눠 진행되었는데 실험 1은 참가자에게 공간위상좌표를 설명해주고 공간위상좌표에 근거하여 주의를 할당하도록 유도하고, 실험 2는 망막위상좌표에 근거하여 주의를 할당하도록 유도하였다. 그리고 탐색자극이 나타날 때까지 다양한 지연시간(75~600 ms)을 줌으로써, 시간 지연에 따른 각 좌표에서의 공간적 주의의 변화양상을 살폈다.

실험 1의 결과 두 좌표간에 공간적 주의 촉진 효과의 차이가 발견되지 않았다. 실험 2의 결과는 실험 1과 다르게 모든 지연시간에서 망막위상좌표에서 공간적 주의의 촉진 효과가 발견되었으며, 공간위상좌표에서의 주의촉진 효과는 아예 발견되지 않았다. 위의 결과를 종합하여 저자들은 망막위상좌표가 적어도 시각정보처리 초기에는 공간적 주의 할당에 기본적으로 이용되는 좌표라고 결론 내렸다. 인간이 외부 세계를 표상하는 것은 최종적으로는 공간위상좌표를 사용하지만¹⁾ 공간위상좌표

1) 외부세계를 눈 운동이나 머리 움직임과 상관없이 안정적으로 지각하므로 결국 공간위상좌표를 사용할 수밖에 없다.

는 망막위상좌표에 기반을 둔다. 눈 운동으로 인해 망막상이 변화하게 되는데 이것이 공간 위상좌표에 반영되기 위해서는 망막위상좌표에 근거한 공간위상좌표가 리맵핑을 통해서 업데이트 되어야 한다. 하지만 눈 운동 이후 150ms 이전과 같이 아주 짧은 시간은 리맵핑 업데이트가 발생하기에는 너무 짧은 시간이고, 따라서 이때 주의를 할당해야 한다면 공간위상좌표가 아닌 망막위상좌표에 근거해서 주의를 할당할 수밖에 없다는 것이 실험 결과에 대한 저자들의 이론적 설명이다.

Golomb 등의 연구는 공간적 주의할당 시 망막위상좌표와 공간위상좌표의 역할을 리맵핑 메커니즘과 연관 지어 설명했다는 점에서 의의가 있다. 하지만 실험 자극 구성 면에서 인공적이고 단순한 자극을 사용함으로써, 다른 자극들이 복잡하게 혼합되어 있는 일반적 공간적 주의 할당 상황이 잘 반영되었는가에 대해서는 의문이 남는다.

연구 목표

인간이 외부 세계의 특정 위치에 있는 대상으로 도약 눈 운동을 하고, 공간적 주의를 할당할 때의 일반적인 상황은 단순한 자극만이 존재하는 상황이 아니다. Golomb 등이 실험 상황과 같이 응시점과 단서 그리고 목표 자극만이 존재하는 것이 아니라 공간적 주의 할당 시에 이용할 수 있는 풍성한 배경이 존재한다. 풍성한 배경이 존재하면 특정 공간으로 주의를 할당할 때에 배경이 가지는 정보(운곽, 결정 정보, 공간주파수, 색, 방위 등)를 사용할 가능성이 있으며 눈 운동에 의해 망막상이 변화하

더라도 배경을 참조로 사용하여 지각이나 공간적 주의 할당이 이뤄질 수 있다(Baccino, Jaschinski, & Bussolon, 2001; Brooks, Impelman, & Lum, 1980; Duvel, 1995; Honda, 1995).

본 연구는 배경이 존재할 때에도 Golomb 등이 주장하는 바와 같이 시각정보처리 초기에 망막위상좌표가 여전히 공간적 주의 할당에서 기본적인 좌표로 이용되는지를 검증하였다. Golomb 등이 주장하듯이 시각정보처리 초기에 망막위상좌표가 공간적 주의할당에서 기본적인 좌표로 이용된다면 배경의 존재 유무와 관계없이 망막위상좌표에서 공간적 주의 촉진 효과가 관찰되어야 한다. 이를 검증하기 위하여 실험 1은 이전의 연구를 반복 재검증하였고, 실험 2는 실험 1의 자극에 배경을 추가하고 배경의 존재에 따라 각 좌표에서 주의 촉진 효과가 다르게 나타나는지를 검증하였다.

실험 1

실험 1은 Golomb 등(2008)의 연구에서 수행한 실험을 반복하되, 자극의 크기와 자극간 거리를 조정하고, 자극이 제시되는 디스플레이의 크기를 조정하였다. Golomb 등의 연구에서 사용한 19인치 모니터를 사용하게 되면 모니터의 테두리와 같은 의도하지 않은 정보가 공간위상좌표의 참조 틀로 작용하여 실험이 오염될 가능성이 있다. 따라서 자극을 제시하는 디스플레이의 크기를 크게 하여 참가자의 시야 범위가 디스플레이 내에 존재하도록 하였고, 배경이 존재하는 경우(실험 2)에 자극이 배경과 잘 변별되도록 자극 크기를 조정하였다. 자극의 크기가 커짐에 따라 자극간 거리

도 조정하였다. 이렇게 자극 크기와 자극간 거리 및 디스플레이 크기를 조정함에 따라 Golomb등의 연구에서와 다른 실험 환경이 구성되었으므로, 달라진 환경에서도 동일한 결과가 반복되는지를 검증하였다.

방 법

참가자 총 11명의 광운 대학교 학생이 참가하였으나, 실험 도중 누락된 참가자들로 인하여 각 조건에서 참가자 수가 달랐다. 참가자들은 눈 운동이 없는 조건, 공간위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 조건, 마지막으로 망막위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 조건 순서로 블록화하여 과제를 수행하였다. 눈 운동이 없는 조건에서는 11명이 모두 과제를 수행하였으며, 이 중 10명이 공간위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동이 있는 조건에서도 수행하였다. 마지막으로 망막위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈운동 조건에는 앞의 두 조건을 모두 수행하였던 10명중 9명이 참가하였다. 참가자들은 각 블록마다 하루씩 총 3일에 걸쳐 실험에 참가하였으며, 실험 진행 도중 연락이 두절된 참가자들이 누락되었다.

장비 실험에 쓰인 PC는 Intel core i3 3GHz CPU와 3G RAM을 탑재하였다. 디스플레이는 삼성 47인치 UN46C8000 LED TV로 240Hz의 화면 주사율을 가지며, 해상도는 1920x1080이다. 눈 운동을 추적하기 위하여 최대 500Hz를 지원하는 Eye-Link II 헤드마운트 형 아이트래커를 사용하였으며, pupil-CR mode를 사용하여

250Hz의 sampling rate로 실험을 진행하였다. 자극은 MATLAB 7.1 PTB-3(Psytoolbox-3)를 이용하여 제시 하였다(Cornelissen, Peters, & Palmer, 2002; Kleiner, Brainard, Pelli, Ingling, Murray, & Broussard, 2007)

자극 자극의 모양은 Golomb등(2008)의 연구에서 사용한 것과 동일하나, 그 크기와 자극간 거리가 달랐다. 배경은 특별한 텍스처가 없는 회색화면(68 cd/m²)이었으며, 자극은 응시점(•), 기억 단서자극(□), 탐색자극(/, \)순으로 제시하였다(그림 1 참조). 참가자는 제시되는 응시점에 시선을 고정하고, 기억단서자극이 제시되면 그 위치를 기억한다. 지연시간 후 탐색자극인 대각선이 제시되면 대각선이 기울어진 방향을 따라 키보드로 반응하고, 마지막으로 기억목표자극이 제시되면 앞서 기억했던 기억단서자극과 동일한 위치인지 아닌지를 키보드로 반응한다.

응시점은 지름 0.48°의 흰색 점(170.7 cd/m²)으로, 모니터 중앙을 중심으로 하여 9.75° x9.75°의 눈에 보이지 않는 임의의 정사각형을 그렸을 때 각 모서리중 하나의 위치에 제시하였다. 기억 단서자극은 가운데가 빈 검은색(0.94 cd/m²) 사각형틀 모양으로, 1.4°x1.4°의 크기로 제시하였다. 탐색자극은 1.96°x0.2°의 길이와 두께를 가진 좌 또는 우로 45° 기울어진 검은색(0.94 cd/m²)선으로 제시하였다. 기억단서자극, 탐색자극이 제시되는 위치는 화면의 한가운데(1), 화면의 가운데를 중심으로 19.5°x19.5°의 눈에 보이지 않는 임의의 정사각형을 그렸을 때 각 모서리(4) 및 정사각형 각 변의 중심(4)의 총 9개의 위치중 하나에 조건

에 따라 제시하였다.

기억단서자극에 대한 참가자들의 수행을 통제하기 위하여 탐색자극에 반응한 750 ms 이후에 기억 목표 자극을 제시하였다. 기억 목표 자극은 물음표가 들어가 있는 검은색(0.94 cd/m²)사각형 틀 모양으로(2), 그 색과 크기는 기억 단서자극과 동일하였다. 기억목표자극은 기억 단서자극이 나온 위치와 동일한 위치에 전체 시행중 50%의 비율로 나타나고, 비슷한 위치이지만 약간 다른 위치²⁾에 50%의 비율로 나타난다. 참가자는 충분한 시간을 가지고 가능한 한 정확하게 단서자극이 제시된 위치와 목표 자극이 제시된 위치가 같은지 다른지를 변별하는 과제를 수행하도록 요구 받았다. 동일한 위치인 경우 키보드의 왼쪽 화살표를, 상이한 위치인 경우 키보드의 오른쪽 화살표를 누르도록 지시받았으며, 정답 유무에 대한 피드백을 반응 직후에 제시하였는데, 정답인 경우 “딩동” 소리를 제시하였고 오답인 경우 “삐” 소리를 제시하였다. 기억 수행 난이도를 65~85%로 유지하기 위하여, 매 시행까지의 기억 목표자극에 대한 수행 정확도 평균을 계산하였다. 2.4°의 10%(0.24°)를 한 단계로 하여, 만약 수행이 85~90%이면, 단서자극과 기억목표자극까지의 거리를 한 단계 더 거리를 가깝게 하였고, 만약 수행이 90% 이상이면, 두 단

2) 기억단서자극의 중심으로부터 우측으로 2.4°의 보이지 않는 선을 긋고, 이 선을 뒤편으로 하는 보이지 않는 정사각형을 그린다. 즉, 정사각형의 왼쪽 위 모서리가 기억 단서자극의 중심이 되며 완벽히 동일한 위치에 기억 목표자극이 제시되는 비율이 전체시행의 50%, 정사각형의 나머지 세 모서리중 하나에 랜덤하게 제시되는 비율이 전체시행의 50%이다.

계 거리를 가깝게 하여 과제 수행을 어렵게 하였다. 반대로 수행이 65~85%면 한 단계 멀리, 65% 미만이면 두 단계 멀리 위치시켜 과제 수행을 수월하게 하였다.

설계 실험 1의 독립변인은 주의 할당을 위해 참가자가 사용할 좌표와 눈 운동이 완료된 후부터 탐색자극이 나올 때 까지 지연시간(SOA)이다(표 1 참조). 좌표는 공간위상좌표와 망막 위상좌표 두 가지 수준이며, 지연 시간은 다섯 수준이다. 지연시간을 달리 함으로써, 시간의 경과에 따른 공간위상좌표와 망막위상좌표에서의 주의축진 효과를 비교할 수 있도록 설계하였다. 각 독립변인의 수준을 교차시켜 2x5 피험자 내 요인 설계를 구성하였다.

절차 실험의 진행 순서는 기존 Golomb등(2008)의 연구와 동일하게 진행하였으며, 모든 실험에서 참가자들이 응시점을 응시하는지, 혹은 눈 운동을 지시대로 수행하는지를 확인하기 위하여 참가자들의 시선을 추적하였다. 각 참가자는 3일에 걸쳐 실험에 참여하였다. 첫째 날에는 연습 시행 후 눈 운동이 없는 블록, 둘째 날에는 연습 시행 후 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 한 눈 운동 블록, 셋째 날에는 연습 시행 후 망막위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 한 눈 운동 블록에 참여하였다. 시선추적을 위한 시선 추

표 1. 실험 1 독립 변인과 수준

독립 변인	
좌표	공간위상좌표, 망막위상좌표
지연시간(SOA)	75, 150, 250, 400, 600 ms

적기 교정 및 연습에서 문제가 있는 참가자 또는 실험 첫째 날에 수행하는 눈 운동이 없는 조건에서 단서에 의한 반응속도의 촉진효과가 명확히 나타나지 않는 참가자들은 불성실하다고 판단하여 둘째 날 실험부터 제외하였다.

시행 횟수는 눈 운동이 없는 블록은 총 60회이며, 눈 운동 블록은 총 120회였다. 눈 운동이 없는 블록의 경우 단서자극과 공간 및 망막위상좌표와 동일한 위치에 탐색자극이 제시되는 시행이 75%, 동일하지 않은 위치에 나타나는 통제 시행이 전체의 25%로 구성하였다. 눈 운동 블록의 경우 공간/망막위상좌표 중 어느 것에 근거하여 주의를 할당하는가에 따라 탐색자극의 제시 위치가 달랐다. 공간위상좌표에 근거하여 주의를 할당하는 실험에서는 단서자극과 공간위상좌표로 동일한 위치에 탐색자극이 50%, 망막위상좌표로 동일한 위치에 25%, 통제 위치에 25%가 제시되었다. 반면, 망막위상좌표에 근거하여 주의를 할당하는 실험에서는 단서자극과 망막위상좌표로 동일한 위치에 탐색자극이 50%, 공간위상좌표로 동일한 위치에 25% 통제 위치에 25%가 제시되었다. 각 참가자의 총 시행횟수는 300회 (60+120+120)였다.

교정(calibration) 및 응시점 응시 연습시행. 성공적으로 응시점을 응시할 수 있는지를 확인하기 위해 교정 및 응시점 연습시행을 본 실험 이전에 진행하였다. 실험 참가자는 화면으로부터 78cm 떨어진 의자에 앉고 아이트랙커를 착용하고 턱받침(chinrest)을 이용하여 머리를 고정한 상태에서 교정 및 응시점 응시 연

습을 진행하였다. 응시점 응시 연습은 총 20회 진행 되었는데, 모니터의 다양한 위치에 제시되는 응시점에 시선이 제대로 향하는지를 확인 하였다. 응시점의 중심을 기준으로 2°를 벗어나면 응시점 응시 연습실패로 간주하였으며 실패한 참가자들은 실험에서 제외하였다.

각 좌표에 대한 설명 및 연습시행. 교정 및 응시점 응시 연습이 완료 되면, 아이트랙커를 해제시킨 후 다음 실험이 무엇인가에 따라 망막위상좌표나 공간위상좌표를 실험자극 예를 보여주면서 구두로 설명하였다. 망막위상좌표는 “망막상 내에서의 자극의 위치”라고 구두로 설명하고 자극의 예를 그림으로 보여주었으며 공간위상좌표는 “모니터 상에서의 자극의 위치”라고 설명하고 자극의 예를 그림으로 보여주었다. 설명이 끝나면 다시 참가자는 아이트랙커를 착용하고 재 교정 시행을 실시한 후, 참가자가 해당 날짜에 진행해야 하는 조건에 대해 연습시행을 120회 수행하였다. 각 시행의 자극제시 절차는 그림 1, 2에 제시하였다.

눈 운동이 없는 시행 블록(No-saccade task). 눈 운동이 없는 시행에서 참가자는 응시점을 응시하도록 요구되는데 이 때 공간위상좌표와 망막위상좌표는 구별되지 않는다. 그림 1은 눈 운동이 없는 시행의 자극 제시 절차를 보여준다. 시행이 시작되면 참가자는 500 ms동안 제시되는 응시점을 응시한다. 그 후 응시점이 사라지지 않은 상태에서 단서자극이 200 ms동안 제시되었다 사라지고 계속해서 응시점이 500 ms동안 제시된다. 이후 250 ms내의 어느 한 시점에라도 응시점을 응시하

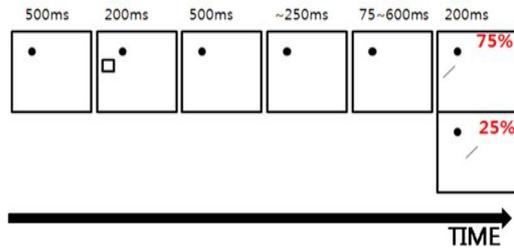


그림 1. 눈 운동이 없는 시행의 예

고 있는 것이 아이트랙커를 통해 확인되면 75, 150, 250, 400 혹은 600 ms의 지연시간 후에 200 ms동안 탐색자극(대각선)을 제시하였다. 대각선의 방위는 좌측 45°/우측45°의 두 가지가 있으며 단서자극이 나타난 위치에 전체 시행의 75%, 동일한 이심율을 가지는 다른 위치에 25%의 비율로 제시되었다. 탐색자극이 제시된 후 가능한 한 빨리 탐색자극의 방위를 키보드를 이용하여 보고하도록 했는데, 좌측 45°인 경우 왼쪽화살표(←)키, 우측 45°인 경우 오른쪽 화살표(→)키를 누르도록 하였으며 이때 반응시간을 기록하였다. 눈 운동이 없는 시행에서 단서자극에 의한 주의축진 효과가 나타나지 않는 참가자는 불성실하다고 판단하여 실험에서 제외하였다.

눈 운동 시행 블록(Saccade task). 눈 운동 시행 블록에서도 참가자는 응시점을 응시하도록 요구받았는데 응시점이 움직이면 눈을 움직여 지속적으로 응시점을 응시하도록 하였다. 그림 2는 공간위상좌표에 근거하여 주의를 할당하도록 지시한 눈 운동 시행 블록에서의 자극 제시 절차를 보여준다. 참가자는 시행이 시작되면 500 ms 동안 제시되는 응시점을 응시한다. 이어서 응시점이 사라지지 않은 상태

에서 단서자극이 200 ms동안 제시되고 다시 응시점이 500 ms동안 제시된다. 이후에 응시점이 서로 다른 세 위치 중 한 곳에 제시되는데, 250 ms내의 어느 한 시점에라도 새로 제시된 응시점 위치로 눈 운동을 수행한 것이 확인되면 75, 150, 250, 400 혹은 600 ms의 지연시간 후에 200 ms동안 탐색자극(대각선)이 제시된다. 대각선의 방위는 좌측 45°/우측 45°의 두 가지가 있으며 공간위상좌표에 근거하여 주의를 할당하도록 요구한 조건에서는 단서자극이 나타난 공간위상좌표에서의 위치에 탐색자극이 전체 시행의 50%(그림 2의 A), 단서자극이 나타난 망막위상좌표에서의 위치에 25%(그림 2의 B), 공간위상좌표와 망막위상좌표에서의 위치와는 상이하지만 동일한 이심율을 가지는 위치에 전체시행의 25%(그림 2의 C) 비율로 제시된다. 망막위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 요구한 조건은 단서자극이 나타난 망막위상좌표의 위치에 탐색자극이 전체 시행의 50%(그림 2의 B), 단서자극이 나타난 공간위상좌표의 위치에 25%(그림 2의 A), 상이하지만 동일한 이심율을 갖는 위치에 전체시행의 25%(그림 2의 C) 비율로 제시된다. 탐색자극이 제시된 후 가능한 한 빨리 탐색자극의 방위를 키보드를 이용하여 구별하도록 요구했는데, 좌측 45°인 경우 왼쪽 화살표(←)키, 우측 45°인 경우 오른쪽 화살표(→)키를 누르도록 하고 반응시간을 기록하였다. 만약 공간적 주위가 두 좌표 중 특정한 좌표에 기반하여 할당된다면, 그 좌표에 기반하여 과제를 수행했을 때의 반응시간이 다른 좌표에서의 반응시간보다 빨라야 한다.

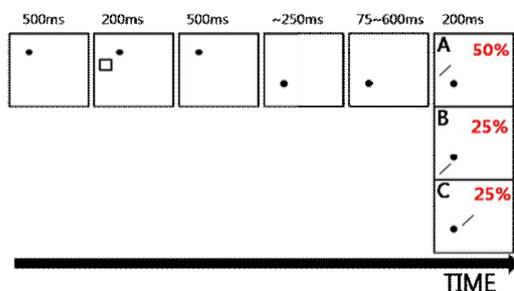


그림 2. 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 지시한 도약 눈 운동 시행의 예

결과 및 논의

탐색자극의 방위 변별 반응시간이 1초 이상인 시행 혹은 탐색자극의 방위를 틀리게 보고한 시행은 분석에서 제외하였다. 눈 운동 시행에서 응시점이 이동 되었음에도 불구하고 주어진 시간 동안 눈 운동이 제대로 이루어지지 않은 시행(saccadic offset latency가 0.25sec 초과)도 분석에서 제외하였다. 각 좌표에서의 공간적 주의 촉진 효과는 각 좌표 조건에서의 반응시간(RT_A)과 통제조건에서의 반응시간(RT_B) 차이를 계산하여 획득하였다(촉진효과: $RT_B - RT_A$).

눈 운동이 없는 시행 블록 참가자가 단서자극이 나타난 위치에 공간적 주의를 할당하고 유지하지 못하면 어떤 좌표에 근거해서 주의를 할당하는지 구분하는 것이 불가능하다. 따라서 눈 운동이 없는 시행을 분석하여 공간적 주위가 단서자극이 나타나는 위치에 할당 및 유지되는지를 확인하였다. 그림 3A는 눈 운동이 없는 블록의 주의촉진 효과 양상을 보여준다. 일원변량 분석 결과, 반응시간에 미치는

지연시간의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았다($F < 1.0$). 탐색자극이 단서자극과 동일한 공간 및 망막위상좌표의 위치에 제시된 조건의 반응시간과 통제조건의 반응시간의 차이를 검증하기 위하여 실시한 대응표본 t 검증 결과, 단서자극과 동일한 공간 및 망막위상좌표의 위치에 탐색자극이 제시 되었을 때 반응이 더 빨랐다($t(10) = 5.70, p < .001$).

공간위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행 블록 눈 운동이 없는 시행 블록에서 연구자가 의도한대로 공간적 주의가 할당되는 것을 확인 하였으므로, 눈 운동 시행 블록에서 각 좌표의 사용에 따라 주의촉진 효과가 나타나는지를 분석하였다. 그림 3B는 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 지시한 눈 운동 시행 블록에서의 주의촉진 효과 양상을 보여준다. 그림의 실선은 탐색자극이 단서자극과 동일한 공간위상위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이며, 점선은 동일한 망막위상위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이다.

좌표와 지연시간을 요인으로 하는 2 X 5 반복측정 변량분석을 실시한 결과, 모든 주효과 및 상호작용이 유의하지 않았다($F_s < 1.0$). 개별 지연시간에서 두 좌표 조건에서의 반응시간 차이를 검증하기 위한 대응표본 t 검증을 실시한 결과 모든 개별 지연시간에서 두 좌표 조건간의 반응시간 차이가 발견되지 않았다($p_s > .10$). 다음으로 지연시간과 관계없이 두 좌표 조건과 통제 조건의 반응시간 차이를 검증하기 위해 대응표본 t 검증을 실시한 결과 공간위상좌표 조건($t(9) = 1.37, p = .21$), 망막위

상좌표 조건($t(9) = 1.63, p = .14$) 모두 통제조건과 차이가 없었다.

망막위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행 블록 마지막으로 그림 3C는 망막위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 지시한 눈 운동 시행 블록에서의 주의 촉진 효과 양상을 보여준다. 그림의 실선은 탐색자극이 단서자극과 동일한 공간위상위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이며, 점선은 동일한 망막위상위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이다.

좌표와 지연시간을 요인으로 하는 2 X 5 반복측정 변량분석을 실시한 결과 지연시간의 주효과 및 좌표와 지연시간의 상호작용효과는 발견되지 않았으나($F_5 < 1.0$), 좌표의 주효과가 발견되었다($F(1, 8) = 9.45, p < .05$). 두 좌표 조건과 통제 조건에서의 반응시간 차이를 검증하기 위해 대응표본 t검증을 실시한 결과, 공간위상좌표 조건과 통제 조건간의 차이는 발견되지 않았으나($t(8) = .11, p = .91$), 망막위상좌표 조건과 통제 조건간의 차이가 관찰되었다($t(8) = 6.78, p < .001$).

논의 실험 1은 실험 2를 수행하기 위한 기초 실험으로서 자극의 크기 및 자극간 거리, 자극을 제시하는 디스플레이를 변경하였을 때 Golomb등(2008)의 연구와 동일한 결과를 획득할 수 있는지를 검증하였다. 눈 운동이 없는 시행 블록, 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 지시한 눈 운동 시행 블록과 망막위상좌표에 근거하여 수행하도록 지시한 눈 운동 시행 블록 모두에서 이전 연구와 동일한 패턴의 결과를 획득하였다. 눈 운동이 없는 시행 블록에서 실험에서 의도한 대로 공간적 주의가 적절하게 할당되는 것을 확인하였고(그림 3A) 공간위상좌표에 근거하여 수행하도록 한 눈 운동 시행 블록에서 두 좌표에서의 주의촉진 효과의 차이가 없었으며(그림 3B), 망막위상좌표에 근거하여 수행하도록 한 눈 운동 시행 블록에서 공간위상좌표에서의 주의 촉진 효과는 발견되지 않았으나, 망막위상좌표에서의 주의촉진 효과가 발견되었다(그림 3C). 따라서 Golomb 등이 주장한 바와 같이 공간적 주의 할당에 기반이 되는 좌표는 망막위상좌표일 가능성을 지지하는 경험적 근거를 획득하였으나, 실험 1에 사용한 자극은 점과

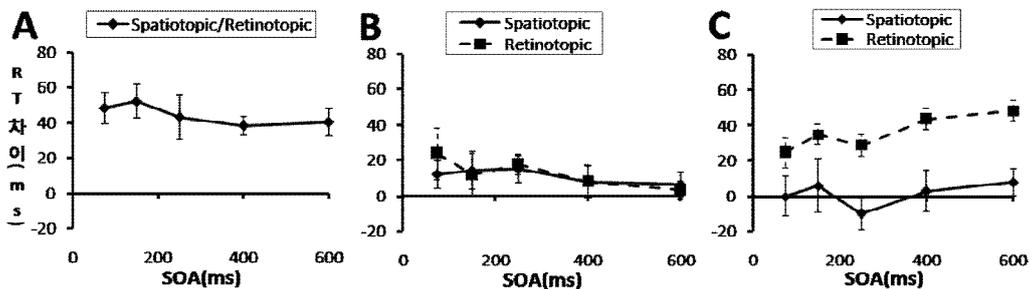


그림 3. 실험 1의 주의 촉진 효과 양상. A. 눈 운동이 없는 시행, B. 공간위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행 C. 망막위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행. 오차막대는 1표준오차

선으로 이루어진 단순한 자극이었으므로, 주의를 할당하는 일반적 상황과는 차이가 있다. 실험 1의 결과가 배경이 존재하는 일반적 상황에서도 일반화되는지를 검증하기 위해 실험 2를 수행하였다.

실험 2

실험 2의 목적은 배경의 존재 유무에 따른 망막위상좌표 및 공간위상좌표에서의 주의 촉진 효과를 검증하는 것이다. Golomb 등(2008)의 연구는 배경이 존재하지 않고 점과 선으로 이루어진 단순한 자극들만이 제시되는 상황에서 참가자에게 구두로 망막위상좌표나 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 하였다. 참가자는 모니터에 제시되는 점과 선 정보에만 근거해서 과제를 수행해야 하므로 눈 운동이 발생하는 경우에 단서자극이 나타난 공간적 위치를 표상할 수 있는 참조 틀이 부족해서 공간위상좌표보다는 망막위상좌표에 근거해서 과제를 수행하는 것이 더 유리한 상황일 수 있다. 반면 배경을 제시하게 되면, Golomb 등의 연구보다 훨씬 더 공간위상좌표를 사용하기에 유리한 조건일 수 있다. 왜냐하면 눈 운동에 의해 망막 정보가 달라지더라도 배경이 객관적인 공간 위치에 대한 참조 틀로 사용될 수 있기 때문이다. 만약 공간정보에 대한 참조틀로 이용될 수 있는 배경이 존재할 때에도 Golomb 등의 연구와 동일한 결과가 획득 된다면 이것은 Golomb 등의 연구 결과를 지지하는 증거가 될 것이다. 반대로 Golomb 등의 결과와 상이한 결과를 획득하게 된다면 (예를 들어, 공간위상좌표에서의 위치의 유의

미한 주의 촉진 효과), 이것은 Golomb 등이 주장한 것처럼 시각정보처리 초기에 망막위상좌표가 주의할당을 위한 기본적인 좌표라는 것은 망막위상좌표에 근거하여 반응하기에 유리한 제한된 실험 조건에서 나온 결과임을 시사한다.

방 법

참가자 총 12명의 광운대학교 학생들이 참가하였으나, 각조건마다 참가자 수가 달랐다. 눈 운동이 없는 시행 블록에는 총 12명이 참가하였으며, 이중 9명이 실험 1에도 참가했던 참가자였다. 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 요구한 눈 운동이 있는 시행에도 동일한 12명이 모두 참가하였으며, 망막위상좌표에 근거하여 수행하도록 요구한 시행 블록에는 이중 10명이 참가하였다. 참가자들은 각 블록마다 하루씩 총 3일에 걸쳐 실험에 참가하였으며, 실험 진행 도중 연락이 두절된 참가자들이 누락되었다.

장비, 설계, 절차 실험 2에서 사용한 장비, 설계, 실험절차는 실험 1과 동일하였다.

배경 및 제시자극

배경. 그림 4는 실험 2에서 사용한 배경을 보여준다(실선과 파선). 배경은 수평 실선 및 수직 파선, 상하축의 곡선을 사용하여 구성하였다. 흰색(202.1 cd/m^2)의 바탕에 각 선들은 회색(72.4 cd/m^2)을 사용하여 두드러져 보이지는 않도록 조작하였다. 배경자극으로 사용할

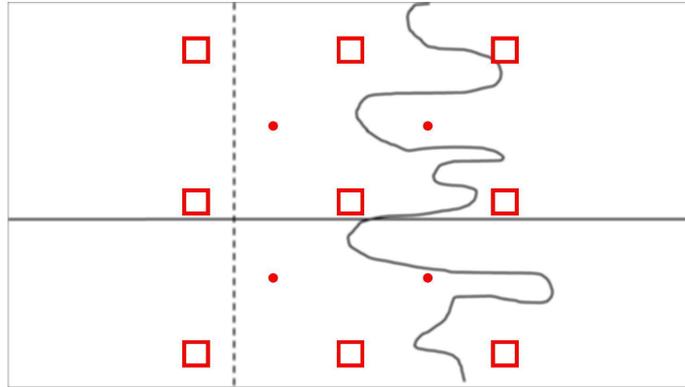


그림 4. 실험 2에 사용된 배경과 자극이 제시된 위치

수 있는 패턴의 모습은 무수히 많으며 특히 2차원 평면의 경우 가로(X)와 세로(Y)로 이루어진 두 선만으로 모든 점의 상대적인 위치를 표시할 수 있다. 하지만 눈 운동과 함께 빠르게 점멸하는 단서들의 위치파악이 용이하도록 세 개의 선을 사용하였다. 먼저 가로 실선을 넣어 상하를 구분하였고 좌측에는 세로선을 추가하였으나 가로 실선과의 변별을 높이기 위해 파선을 사용하였다. 최종적으로 우측에 곡선으로 세로 실선을 넣어 다른 두 선과 구분되도록 하였다. 이를 통해 참가자가 전체적인 방위 및 국지적인 위치파악을 안정적으로 지각할 수 있을 것이라 예측하였다. 또한 배경의 정보를 잘 사용할 수 있으면서도 자극을 지각하는 데에 최대한 방해가 되지 않도록 배경과 자극이 겹치지 않도록 하였다. 배경의 상세 부분과 제시되는 응시점 및 단서자극의 기본위치는 그림 4에 제시하였다.

자극. 실험1과 동일한 방식으로 자극을 제시하였다. 단, 배경이 제시되는 경우 검은색과 흰색으로 이루어진 실험1의 응시점, 단서자극

및 탐색자극은 탐지에 어려움이 있으므로, 색상을 모두 빨간색(170.3 cd/m^2)으로 변경하였다.

결과 및 논의

눈 운동이 없는 시행 블록 실험 1과 마찬가지로 연구에서 의도한대로 주의가 적절하게 할당되는지를 먼저 확인하였다. 지연시간에 따른 주의 촉진 효과 양상은 그림 5A에 제시하였다. 지연시간을 주효과로 하는 일원변량 분석 결과 지연시간에 따른 반응시간에서의 차이는 통계적으로 유의하지 않았으며($F < 1.0$), 탐색자극이 단서자극과 동일한 공간 및 망막위상좌표의 위치에 제시되는 조건의 반응시간과 통제 조건의 반응시간을 비교하기 위한 대응표본 t검증을 실시한 결과, 단서자극과 동일한 공간 및 망막위상좌표의 위치에 탐색자극이 제시되는 조건에서의 반응시간이 통제조건의 반응시간에 비하여 빨랐다($t(11) = 8.25, p < .001$).

공간위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행 블록 공간위상좌표에 근거한 눈 운동 시행에서, 만약 배경 정보가 공간적 주의 할당에 참조 틀로 사용될 수 있다면, 배경을 추가한 실험 2는 실험1과는 달리 공간위상좌표에서의 주의 촉진 효과 향상을 기대할 수 있다. 그림 5B는 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 요구한 눈 운동 시행 블록에서의 주의 촉진 효과 양상을 보여준다. 그림의 실선은 탐색자극이 단서자극과 동일한 공간위상위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이며, 점선은 동일한 망막위상위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이다. 공간위상좌표에서의 촉진효과가 실험 1에 비하여 매우 증가하였고, 상대적으로 망막위상좌표에서의 촉진효과는 거의 나타나지 않는 경향을 발견하였다.

통계적 검증을 위해 좌표와 지연시간을 요인으로 하는 2 X 5 반복측정 변량분석을 실시한 결과, 지연시간의 주효과와 좌표와 지연시간의 상호작용효과는 통계적으로 유의하지 않았으나($p > .10$), 좌표의 주효과를 발견하였다 ($F(1, 11) = 5.20, p < .05$). 두 좌표 조건과 통제 조건에서의 반응시간 비교를 위해 대응표본 t검증을 실시한 결과, 망막위상좌표 조건과 통제 조건의 반응시간은 차이가 없었으나($t(11) = .78, p = .45$), 공간위상좌표 조건에서의 수행은 통제조건에서의 수행보다 반응시간이 더 빨랐다($t(11) = 2.80, p = .02$).

망막위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행 블록 그림 5C는 망막위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 했을 때의 주의 촉진 효과 양상을 보여준다. 그림의 실선은 탐색자극이 단서자극과 동일한 공간위상 위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이며, 점선은 동일한 망막위상위치에 제시된 시행에서의 촉진효과이다.

좌표와 지연시간을 요인으로 하는 2 X 5 반복측정변량분석을 실시한 결과, 좌표, 지연시간의 주효과와 좌표와 지연시간의 상호작용 효과가 모두 유의하지 않았다($p > .10$). SOA 별로 두 좌표 조건에서의 반응시간 비교를 위해 대응표본 t검증을 실시한 결과 모든 SOA에서 두 좌표 조건간의 반응시간 차이가 발견되지 않았다($p > .10$). 두 좌표 조건과 통제 조건의 반응시간 비교를 위해 대응표본 t검증을

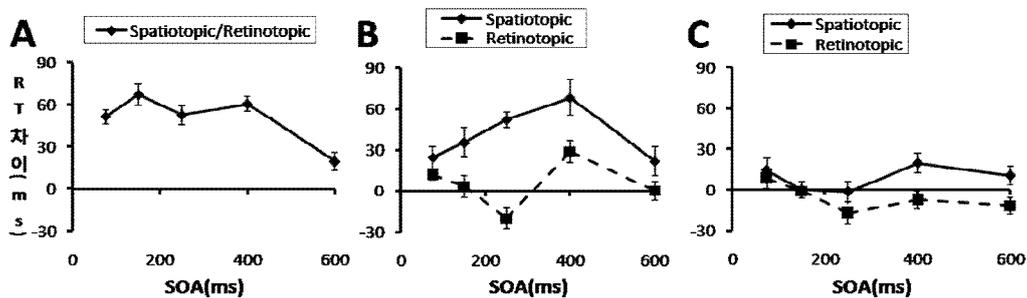


그림 5. 실험 2의 주의 촉진 효과 양상. A. 눈 운동이 없는 시행, B. 공간위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행 C. 망막위상좌표에 근거하여 반응하도록 지시한 눈 운동 시행. 오차막대는 1표준오차

실시한 결과, 망막위상좌표 조건과 통제 조건에서의 반응시간은 차이가 발견되지 않았으며 ($t(9) = .764, p = .464$), 공간위상좌표 조건과 통제 조건에서의 반응시간 역시 차이가 발견되지 않았다($t(9) = 1.277, p = .234$).

논의 실험 2는 배경의 존재가 공간위상좌표의 사용에 더 유리할 수 있다는 예상 하에 실험 1과 동일한 자극과 절차를 이용하되 배경을 추가하고, 각 좌표의 공간 주의 촉진 효과가 어떤 양상을 보이는지를 검증하였다. 배경의 존재에도 불구하고 만약 실험 1과 동일한 주의 촉진 효과 양상을 획득하게 되면 이는 기존연구를 지지하는 것이며, 배경의 추가에 따라 다른 결과 양상을 보인다면 이는 기존연구가 공간위상좌표보다는 망막위상좌표를 사용하기에 유리한 제한된 조건에서 획득된 결과임을 시사한다.

공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 요구한 눈 운동이 있는 시행 블록에서, 실험 2는 공간위상좌표에서의 촉진효과가 증가하는 것을 관찰하였고 이는 실험 1과 상이한 결과이다. 이는 연구의 가정대로 배경이 참조틀로 사용됨으로써 공간위상좌표의 사용에 유리한 조건이 구성되었고, 이에 따라 참가자들은 공간위상좌표를 적절하게 사용하여 공간적 주의할당을 한 것으로 해석할 수 있다. 즉, 배경이 존재하지 않는 경우 참가자들은 공간적 표상의 객관적 근거가 되는 환경적 단서가 빈약하기 때문에 망막위상좌표에 근거하여 공간적 주의할당 과제를 수행할 수밖에 없을 것이다. 그러나 본 연구에서 사용한 배경과 같이 상대적으로 안정적인 환경단서가 주어지는 경

우 망막위상좌표보다 배경에 근거한 공간위상좌표를 사용하는 것이 과제를 더 정확하고 빠르게 수행하는 전략이 될 수 있을 것이며, 실험결과 실제로 배경이 존재할 경우 공간위상좌표에 따른 촉진효과만 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 망막위상좌표에 근거하여 수행하도록 요구한 눈 운동 시행 블록에서 실험 2는 실험 1의 결과와 달리 두 좌표에서의 촉진효과 간 차이를 발견하지 못하였는데 이는 이러한 해석을 다시 한 번 뒷받침하는 결과이다.

종합논의

본 연구의 목적은 시각 정보 처리 초기의 공간적 주의 할당에 망막위상좌표가 사용되는지를 검증하는 것이었다. Golomb(2008) 등은 공간적 주의를 각기 다른 좌표(공간위상 및 망막위상좌표)에 근거하여 할당하도록 실험을 구성하고 주의 촉진 효과를 측정하였다. 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행한 시행에서 두 좌표에서의 주의 촉진 효과가 발견되었지만 시각정보처리 초기에는 망막위상좌표에서의 주의촉진 효과가 더 컸던 반면, 망막위상좌표에 근거하여 수행하도록 요구한 시행에서는 망막위상좌표에서의 촉진효과만 나타났다. 이를 바탕으로 Golomb 등은 망막위상좌표가 시각 정보 처리 초기에 공간적 주의 할당에 기반이 되는 좌표이며, 공간위상좌표는 망막위상좌표의 정보가 업데이트 되어야만 구성될 수 있다고 제안하였다.

하지만 기존의 연구는 배경이 없고 점과 선 등의 간단한 자극만이 존재하여 공간위상좌표를 사용하기에는 정보가 충분하지 않고 망막

위상좌표를 사용하기에 유리한 실험 상황에서 검증된 결과일 수 있다. 배경이 없는 상태에서 단순한 자극이 짧은 시간 동안만 제시되면, 화면상의 어느 위치에 명확하게 그 자극이 나왔는지를 기억하는 것은 매우 어려운 과제일 수 있다. 또한 환경의 공간적 위치에 대한 맥락정보를 제공하는 배경이 전혀 존재하지 않는 특정한 상황에서의 결과일 가능성도 있다.

이에 따라, 본 연구는 Golomb 등이 사용했던 실험 자극에 배경을 추가하여 배경 정보를 공간좌표의 참조 틀로 사용할 수 있도록 실험 자극을 구성하고 Golomb 등의 실험과 동일한 절차를 사용하여 실험을 진행하였다. 실험 결과, 배경이 존재하지 않는 상황에서 Golomb 등의 연구결과를 반복적으로 발견하는데 성공하였다. 하지만 배경이 존재하는 경우에는 배경이 존재하지 않을 때와 상이한 패턴의 결과를 획득하였다. 공간위상좌표에 근거하여 과제를 수행하도록 한 조건에서 공간위상좌표에서의 주의 촉진 효과를 발견한 반면 망막위상좌표에서의 주의 촉진 효과는 발견되지 않았다. 반면에 망막위상좌표를 사용하도록 요구한 조건에서 주의 촉진 효과는 크게 감소하였으며 두 좌표에서의 촉진효과 차이는 발견되지 않았다. 이와 같은 실험 결과는 기존의 연구 결과가 공간위상좌표보다는 망막위상좌표를 사용하기에 더 유리한 제한적인 상황에서 획득된 결과일 가능성을 시사한다.

본 연구의 결과는 Golomb 등의 연구결과가 실험조건에 따라 달라질 수 있다는 것을 보여줌과 동시에 인간의 주의지각 시스템이 매우 유연하다는 것을 보여주는 증거도 될 수 있다. 즉 정해진 규칙에 따라 망막위상좌표 혹은 공

간위상좌표의 둘 중 하나가 주도적으로 사용되는 것이 아니라 상황에 따라 가장 효율적으로 과제를 수행할 수 있는 방식으로 주어진 정보를 이용한다는 것이다. 다시 말해, 안정적인 환경적 단서가 가용하지 않는 경우에는 즉각적으로 활용 가능한 망막위상좌표를 활용하는 것은 당연한 선택이며(만약 눈운동이 없다면) 이를 통해 주어진 과제를 충분히 정확하게 수행할 수 있을 것이다. 그러나 안정적이고 추가적인 단서(참조배경)가 가용한 경우 정보처리 시스템은 이를 즉각 과제수행에 반영한다는 것을 본 연구결과는 보여준다. 종합하자면 공간적주의 할당의 근거가 되는 좌표가 망막위상좌표인지 혹은 공간위상좌표인지는 미리 규칙화되어 정해져 있는 것이 아니라 과제수행 당시에 가용한 정보의 종류와 질에 달려있다고 해석할 수 있을 것이다.

한 가지 고려해볼 수 있는 가설들 중 하나는 눈 운동 직후의 공간적 주의할당에서 망막위상좌표가 기본적인 좌표로 이용되고 이후 시간이 흐르면서 리맵핑의 결과로 공간위상좌표가 사용된다는 것이다. 눈 운동과 상관없이 망막위상좌표를 이용하여 공간적 주의를 할당하는 시각시스템을 지닌 유기체는 역동적인 생태환경에서 살아남기 힘들 것이다. 공간위상좌표를 이용하여 주의를 할당하는 시스템의 생태학적 이득을 고려할 때 Golomb 등의 주장은 시각 정보 처리 초기에는 망막위상좌표를 이용하고 후기에는 공간위상좌표를 이용한다고 해석될 수 있는데 시스템의 효율성을 고려할 때 그럴듯하지 않은 가정이다. Golomb 등이 주장하듯 배경이 존재하지 않는 상황에서 공간적 주의 할당에 망막위상좌표가 이용되었

다고 해석할 수도 있지만 시각 시스템 내에서 아직 업데이트 되지 않은 공간위상좌표가 주의 할당에 이용되었다고 해석할 수도 있다. 배경이 존재할 때는 시각정보처리 초기에도 공간위상좌표를 이용하여 주의를 할당할 수 있다는 것을 보여주는 본 연구의 결과는 망막 위상좌표와 공간위상좌표의 리맵핑 과정에서 배경 정보가 빠르고 효과적으로 이용된다는 것을 보여준다.

연장선상에서 또 다른 한 가지 가능성은 인간의 시각 시스템은 눈 운동시 ‘원래’ 배경정보를 공간표상의 가장 중요한 제 1단서로 사용하며 망막위상좌표에서 공간위상좌표로의 리맵핑은 Golomb 등의 실험조건과 같은 매우 제한된 상황에서만 발생한다는 것이다. 이는 생태학적으로 매우 타당한 가설인데 왜냐하면 Golomb 등의 실험조건과 같이 단순한 몇 개의 점과 선으로 이루어진 시각환경에서 주의할당 과제를 수행하는 것은 일상적인 환경과 매우 상이하기 때문이다. 자연상태에서의 시각환경은 안정적으로 존재하는 풍부한 배경정보를 지속적으로 제공하기 때문에 눈 운동시 이러한 정보를 활용하는 것이 오히려 망막위상좌표를 사용하는 것보다 공간적 주의 할당에 훨씬 더 효율적일 수 있기 때문이다. 본 연구의 결과로는 이러한 가설들을 비교 및 평가하기 어렵지만 이들은 흥미로운 후속 연구주제가 될 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구에서 사용한 배경은 상대적으로 단순하여 제시되는 자극의 위치파악이 용이 하였다. 하지만 실제 환경에는 다양한 배경양상이 존재하며, 이에 따라 배경정보의 유용성이 달라 질 수 있다. 예를 들어 배

경이 격자나 좌우 대칭인 경우, 혹은 테두리가 모호한 경우에는 배경이 제공하는 공간적 위치정보가 제한적일 것이며 따라서 배경이 존재하더라도 이를 참조하여 공간적 주의를 할당하는 것이 어려울 수 있다. 따라서 다양한 배경을 사용하여 각 배경의 특성에 따른 배경정보의 유용성을 검증하는 것도 후속연구를 통해 이뤄져야 할 것이다.

참고문헌

- Awh, E., Jonides, J., & Reuter Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology*, 24, 780-790.
- Baccino, T., Jaschinski, W., & Bussolon, J. (2001). The influence of bright background flicker during different saccade periods on saccadic performance. *Vision Research*, 41(28), 3909-3916.
- Bisley, J. W., & Goldberg, M. E. (2003). Neuronal activity in the lateral intraparietal area and spatial attention. *Science*, 299, 81-86.
- Brooks, B. A., Impelman, D. M., & Lum, J. T. (1980). Luminance on visual sensitivity during saccadic eye movements. *Experimental Brain Research*, 40(3), 322-329.
- Cavanagh, P., Hunt, A. R., Afraz, A., & Rolfs, M. (2010). Visual stability based on remapping of attention pointers. *Trends in cognitive sciences*, 14(4), 147-153.
- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., Linenweber, M. R., Petersen, S. E., Raichle,

- M. E., Van Essen, D. C., & Shulman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, 21, 761-773.
- Cornelissen, F. W., Peters, E. M., & Palmer, J. (2002). The EyeLink Toolbox: eye tracking with MATLAB and the Psychophysics Toolbox. *Behavior Research Methods*, 34(4), 613-617
- Duhamel J. R., Colby C. L., & Goldberg M. E. (1992). The updating of the representation of visual space in parietal cortex by intended eye movements. *Science*, 255, 90-92.
- Duvel, H. (1995). Is saccadic adaptation context-specific? *Studies in visual information processing*, 6, 177-187.
- Eimer, M., Van Velzen, J., Gherri, E., & Press, C. (2007). ERP correlates of shared control mechanisms involved in saccade preparation and in covert attention. *Brain research*, 1135, 154-166.
- Gardner, J. L., Merriam, E. P., Movshon, J. A., & Heeger, D. J. (2009). Maps of visual space in human occipital cortex are retinotopic, not spatiotopic. *Journal of neuroscience*, 28(15), 3988-3999.
- Gersch, T. M., Kowler, E., & Doshier, B. (2004). Dynamic allocation of visual attention during the execution of sequences of saccades. *Vision research*, 44, 1469-1483.
- Golomb, J. D., Chun, M. M., & Mazer, J. A. (2008). The native coordinate system of spatial attention is retinotopic. *Journal of neuroscience*, 28(42), 10654-10662.
- Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & psychophysics*, 57, 787-795.
- Honda, H. (1995). Visual mislocalization in moving background and saccadic eye movement conditions. *Studies in visual information processing*, 6, 201-212.
- Irwin, D. E., & Gordon, R. D. (1998). Eye movements, attention and trans-saccadic memory. *Visual cognition*, 5, 127-155.
- Kastner, S., & Ungerleider, L. G. (2000). Mechanisms of visual attention in the human cortex. *Annual review of neuroscience*, 23, 315-341.
- Kastner, S., DeSimone, K., Konen, C. S., Szczepanski, S. M., Weiner, K. S., & Schneider, K. A. (2007). Topographic maps in human frontal cortex revealed in memory-guided saccade and spatial working memory tasks. *Journal of neurophysiology*, 97, 3495-3507.
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R., & Broussard, C. (2007). What's new in Psychtoolbox-3. *Perception*, 36(14), 1-1.
- Kusunoki, M., & Goldberg, M. E. (2003). The time course of perisaccadic receptivefield shifts in the lateral intraparietal area of the monkey. *Journal of neurophysiology*, 89, 1519-1527.
- Land, M. F., & Hayhoe, M. (2001). In what ways do eye movements contribute to everyday activities? *Vision research*, 41, 3559-3565.

- Melcher, D., & Morrone, M. C. (2003). Spatiotopic temporal integration of visual motion across saccadic eye movements. *Nature neuroscience*, 6(8), 877-811.
- Merriam, E. P., Genovese, C. R., & Colby, C. L. (2003). Spatial updating in human parietal cortex. *Neuron*, 39, 361-373.
- Merriam, E. P., Genovese, C. R., & Colby, C. L. (2007). Remapping in human visual cortex. *Journal of neurophysiology*, 97(2), 1738-1755.
- Nakamura, K., & Colby, C. L. (2002). Updating of the visual representation in monkey striate and extrastriate cortex during saccades. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 4026-4031.
- Nobre, A. C., Gitelman, D. R., Dias, E. C., & Mesulam, M. M. (2000). Covert visual spatial orienting and saccades: overlapping neural systems. *Neuroimage*, 11, 210-216.
- Schall, J. D. (2004). On the role of frontal eye field in guiding attention and saccades. *Vision research*, 44, 1453-1467.
- Sommer, M. A., & Wurtz, R. H. (2006). Influence of the thalamus on spatial visual processing in frontal cortex. *Nature*, 444, 374-377.
- Van der Stigchel, S., & Theeuwes, J. (2005). The influence of attending to multiple locations on eye movements. *Vision research*, 45, 1921-1927.

1 차원고접수 : 2013. 04. 16

수정원고접수 : 2014. 09. 02

최종게재결정 : 2014. 09. 23

Spatial attention allocation in retinal vs. spatial coordinate with and without referential background

Duk-Joong Kim

ShinWoo Kim

Hyung-Chul O. Li

Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

This research tested the basis of spatial attention deployment. Spatial coordinate based on relative retinal position is called retinotopic coordinate and that based on objective spatial location of outer world is called spatiotopic coordinate. Golomb, Chun, & Mazer (2008) compared the use of these two coordinates in spatial attention allocation and concluded that retinotopic coordinate is the basis of spatial attention allocation in early visual information processing and spatiotopic coordinate is used only after retinotopic coordinate is updated. However, because their experiments used only dots and lines as stimuli in the absence of contextual information (e.g., background), retinotopic coordinate was the only representation readily accessible for spatial attention allocation. In this research, we hypothesized that background providing spatiotopic information will facilitate attention allocation based on the spatiotopic representation. To test this hypothesis, we replicated previous results using the stimuli in Golomb et al. (Expt. 1), and then provided background to test whether background is used as spatiotopic reference frame in spatial attention allocation (Expt. 2). The results of Experiments 1 and 2 are compared to examine spatial attention allocation in retinotopic vs. spatiotopic coordinates depending on presence or absence of background. Contrary to previous findings, in Expt. 2, retinotopic facilitation of attention allocation disappeared, indicating that previous experimental setting was favorable for the use of retinotopic spatial representation and that background can be used as spatiotopic reference frame for spatial attention deployment.

Key words : spatial attention, retinotopic coordinate, spatiotopic coordinate