

분산주의와 초점주의의 신경기제 및 시각 통계표상과의 관계

정 상 철^{1,2}

주 성 준¹

¹연세대학교 대학원 인지과학 협동과정

²연세대학교 심리학과

통상적인 시각 장면은 다수의 물체를 포함한다. 하지만 시각시스템이 동시에 처리할 수 있는 용량에는 한계가 있기 때문에, 시각 장면에 제시된 다수의 자극을 어떻게 처리할 것인지의 시각 체계의 매우 중요한 과제 중 하나이다. 선택적 주의와 통계표상은 이 문제를 해결하는 서로 다른 두 방법이다. 이 둘 간의 신경 기제를 밝히기 위해 fMRI를 사용하여 하나의 원에 주의를 주었을 때(초점주의)와 평균 크기 판단을 위해 모든 원에 주의를 주었을 때(분산주의) 억제적 상호작용의 변화를 조사하였다. 시각 영역 V4에서 무주의 조건에 비해 초점주의는 억제적 상호작용을 감소시킨 반면, 분산주의는 억제적 상호작용에 영향을 주지 않았다. 이 결과는 초점주의는 현재의 목적에 맞지 않는 자극을 여과하고 선택된 자극만을 편향되게 처리하지만, 분산주의는 다수의 자극에 대한 신경 반응을 각 자극에 대한 반응들의 평균값으로 수렴시켜 평균표상을 하게 한다는 것을 시사한다.

주제어 : 기능성 자기공명영상, 분산주의, 초점주의, 통계표상, 편향경합 모델, 억제적 상호작용

* 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. M10644020001-06N4402-00110).

† 교신저자: 정상철, 연세대학교 심리학과, 연구세부분야: 인지심리

E-mail: scchong@yonsei.ac.kr

통상적인 시각 장면은 많은 수의 물체를 포함한다. 이 많은 수의 물체를 어떻게 효율적으로 처리할 것인가는 시각체계의 중요한 과제 중 하나이다. 왜냐하면, 인간의 뇌가 한 번에 처리할 수 있는 용량에는 한계가 있기 때문이다. 동시에 처리할 수 있는 움직이는 물체의 수는 4개 정도까지이고[1][2], 시각 작업기억의 용량 또한 4개 정도라고 알려져 있다[3].

이러한 용량의 한계를 극복할 수 있는 한 가지 방법은 선택적 주의를 이용하여 현재의 목적에 맞는 물체만을 처리하는 것이다. Desimone과 Duncan[4]에 의하면, 시야에 있는 물체들은 신경표상을 위해 서로 경쟁한다. 이 들은 물체 간 경쟁에 의한 신경반응은 선택적 주의에 의해 선택된 물체들로 편향(biased)되어 나타난다고 주장하였다. 예를 들어, 한 세포의 수용장 안에 서로 다른 자극이 제시되면, 어떤 자극에 주의를 주었는가에 따라 그 세포는 주의를 준 자극 하나만 수용장 안에 제시되었을 때처럼 반응하게 된다[5]. 만약 선택적 주의가 없는 상황에서 한 수용장 안에 서로 다른 자극이 제시되면 어떻게 될까? Reynolds 등[5]은 이러한 상황에서 세포의 반응이 각 자극을 따로 제시했을 때보다 감소하는 것을 발견하였고, 반응의 크기는 자극을 따로 제시했을 때 각각의 반응 크기의 가중평균(weighted average)이 됨을 밝혔다. 그들은 신경반응이 줄어드는 것이 서로 다른 자극들 간의 상호억제(mutual inhibition) 때문일 것이라는 것과, 한 물체에 선택적 주의를 주게 되면 여러 물체 중 주의를 받은 한 물체에 편향된 신경반응을 일으켜서 상호억제가 줄어든다는 것을 주장하였다. 기능성자기공명영상(functional magnetic resonance imaging; fMRI)을 이용한 연구도 위의 단일세포 연구와 유사한 결과를 보였다[6]. Kastner 등 [6]은 자극의 동시 제시 조건(simultaneous presentation)과 순차 제시 조건(sequential presentation) 중 동시 제시 조건에서만 fMRI 반응이 감소하는 자극 간의 억압적 상호작용(suppressive interaction)을 발견하였다. 또한, 단일세포 연구에서와 마찬가지로 동시 제시 조건에서 하나의 자극이 초점주의를 받게 되면 억압적 상호작용이 사라지는 것을 발견하였다. 이러한 편향경합 모델(biased competition model)은 선택적 주의를 설명하는 신경기제로서 시야에 있는 자극들이 세포들의 반응으로 어떻게 표상되는가에 대한 해답을 제시해 준다[4][5][6].

인간의 정보처리 용량의 한계를 극복할 수 있는 또 다른 방법은 시야에 있는 모든 물체를 표상하는 대신 그 물체들의 통계적 표상만을 하는 것이다. 시각체계

는 거의 모든 시각처리의 기본 세부특징에 대한 통계적 표상에 민감하다. 예를 들어, 시각체계는 평균방향[7], 평균속도[8], 평균방위[9], 그리고 평균크기[10][11] 등을 표상한다. Chong과 Treisman[12][13]은 평균크기의 계산이 이중과제에 영향을 받지 않을 뿐만 아니라 물체의 수와 밀도에 영향을 받지 않는다는 사실을 밝혔다. 이는 평균표상이 자동적이고 주의에 영향을 받지 않는 처리과정임을 시사한다. 평균표상은 시각 장면 전체에 대한 경제적이고 효율적인 표상을 가지게 할 뿐만 아니라, 평균정보에 어긋나는 정보를 쉽게 여과할 수 있게 한다. 이렇게 개개의 자극에 선택적 주의를 주는 것이 아닌 시각 장면 전체에 주의를 줌으로써 평균표상은 시각 장면의 요점(gist)을 빠르게 이해할 수 있게 해 준다[14].

인간의 정보처리 용량의 한계를 극복하는 서로 다른 방법인 선택적 주의와 통계표상은 서로 어떤 관련이 있는가? 이것은 초점주의(focused attention)와 분산주의(distributed attention)의 차이로 설명될 수 있다. 선택적 주의를 현재의 목적에 맞는 자극에만 주의를 주고 나머지 자극들은 여과하는 반면(초점주의), 통계표상을 위해서는 주어진 자극들 전체에 주의를 나누어서 분배해야 한다(분산주의). 편향경합 모델에 따르면 초점주의의 경우 억압적 상호작용이 감소하게 될 것이다. 이것은 하나의 자극을 선택한 경우에 다른 자극들을 여과하고 선택된 자극만을 처리하기 때문에 자극들 간의 억제적 상호작용이 사라짐을 의미한다. 한편, 분산주의의 경우에는 하나의 자극이 나머지 자극들에 비해 우선적으로 처리되지 않기 때문에 억압적 상호작용은 감소되지 않고 유지될 것이다.

본 연구에서는 선택적 주의와 통계 표상의 신경기제 차이를 조사하기 위해 자극들에 주의를 주지 않았을 때(unattended condition)와 초점주의를 주었을 때(focused attention condition), 그리고 분산주의를 주었을 때(distributed condition), 각각 fMRI 신호 세기의 변화를 통해 억압적 상호작용을 정량화하고 그 양의 변화를 관찰하였다. 선택적 주의를 초점주의와 연관이 있고 통계 표상은 분산주의와 연관이 있다. 따라서 본 연구의 의의는 초점주의와 분산주의의 신경기제 차이를 밝히는 것에서 찾아볼 수 있다. 또한, 초점주의와 분산주의의 신경기제 차이는 통계표상의 신경기제에 대한 단서를 제공한다. 본 연구는 다음과 같은 점에서 사전 연구[6]와 구별될 수 있다. 첫째, 단순한 자극을 사용하여 억압적 상호작용에 대한 초점주의의 효과를 검증하였다. Kastner 등[6]은 복잡한 자극을 사용하여 V4에서 억압적 상호작용을 관

찰하였으나, 본 연구에서는 프레임만을 가진 원들을 사용하여 초점주의 효과를 검증하였다. 둘째, 억압적 상호작용과 분산주의와의 관계를 검증하였다. 사전 연구들은 초점주의에 대한 연구에 그친 반면, 본 연구는 단순한 자극을 사용하여 사전 연구들의 초점주의를 검증하였을 뿐만 아니라 한 단계 더 나아가 평균표상을 위한 분산주의의 신경기제를 조사하였다. 마지막으로 분산주의와 평균표상의 관계를 fMRI 반응을 통하여 신경생리학적으로 검증하였다. Chong과 Treisman[13]은 초점주의를 요구하는 과제를 동시에 수행할 때보다 분산주의를 요구하는 과제를 동시에 수행할 때, 평균표상을 더 잘한다는 결과를 행동 실험을 통해 발견하였다. 본 연구는 한 단계 더 나아가 신경생리학적으로 초점주의와 분산주의가 어떻게 다르며 평균표상과는 어떤 관계가 있는지를 조사하였다.

실험 방법

참가자

한 명의 저자를 포함한 여섯 명의 Princeton University 학생이 참여하였다. 그들은 모두는 정신적, 신경적 병력이 없었고, 참가동의서를 작성 후 실험에 참여하였다. 모두의 나안 혹은 교정시력(비금속 안경을 착용)은 1.0이상이었다.

기구 및 재료

모든 자극은 Macintosh G4 컴퓨터상에서 Psychophysics Toolbox를 이용하여 생성되었다[15]. 참가자와 스크린 사이의 거리는 시각도(visual angle)로 약 0.037° 이었다. 그림 1은 실험에 쓰인 자극을 보여준다. 각 화면은 응시점, 참조원, 그리고 원의 배열(4개의 원)로 이루어졌다. 참조원은 응시점을 중심으로 제시되었고, 원의 배열은 2×2 가상행렬(imaginary matrix)을 이용하여 제시하였다. 가상행렬의 셀(cell) 중 응시점과 가장 가까운 셀의 중심은 응시점으로부터 대각선 오른쪽 위로 5° 떨어져 있었다. 가상행렬의 한 셀의 크기는 $2.74^\circ \times 2.74^\circ$ 이었다. 배열 안의 4개의 원의

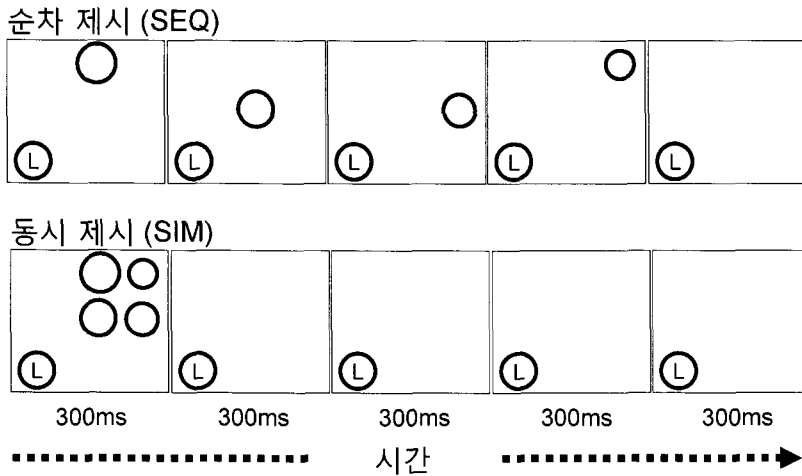


그림 1. 실험 절차 및 자극. 자극은 비율에 맞게 그려지지 않았다.

지름은 1.75° 에서 2.29° 사이에서 심리적 등간격[16]을 갖는 크기로 맞추었고(1.75° , 1.94° , 2.12° , 2.29°), 이들의 평균은 2.03° 이었다. 각 수행마다 4개의 곱셈인자 (multiplicative factor) 중 하나를 선택하여(0.7, 0.85, 1, 1.15) 모든 4개의 원들에 곱한 후의 크기를 사용하였다. 따라서, 배열 안에 있는 원들의 평균 지름은 1.42° 에서 2.33° 사이의 값을 가졌다. T와 L의 각 선분의 길이는 0.67° 이었다.

설 계

실험은 참가자 내 설계였고, 2개의 독립변인을 사용하였다. 첫째는 주의(attention) - 무주의 조건(unattended), 초점주의(focused attention), 분산주의(distributed attention) - 이었고, 둘째는 제시 모드 - 동시(simultaneous) 제시, 순차(sequential) 제시 - 이었다.

총 3개의 다른 과제를 사용하였다. 무주의 조건(unattended condition)에서 참가자들의 과제는 응시점에 무선적으로 제시되는 기울어진 T 또는 L의 수를 세는 것이었다. 각 글자는 300 ms 동안 제시되었고, 기울어진 정도인 방위는 0° , 90° , 180° ,

270° 중 하나였다. 실험 한 블록에 나오는 글자 수의 총합은 60이었고, 각 글자의 빈도는 평균 30번이 되도록 조절하였다(표준편차 4.1). 초점주의 조건에서 참가자들은 다른 3개의 원은 무시하고 응시점과 가장 가까운 가상행렬의 셀에 나오는 원의 크기와 참조원의 크기가 동일해지는 횟수를 세었다. 다른 3개의 원은 항상 참조원과 크기가 동일하지 않았다. 분산주의 조건에서 참가자들은 참조원의 크기가 원의 배열의 평균크기와 동일할 때의 개수를 세었다. 각 조건의 시작 전에 참조원과 크기가 동일한 경우의 수를 1~4 사이의 값에서 무선적으로 선택하였다.

각 참가자는 총 20 스캔을 수행하였다. 이중 10 스캔은 초점주의와 주의를 주지 않는 조건 간의 비교를, 다른 10 스캔은 분산주의와 주의를 주지 않는 조건 간의 비교를 위해 수행하였다. 초점주의 스캔 안에는 4개의 실험 블록(초점주의 또는 무주의 조건 x 2개의 제시 모드)이 5개의 휴지(resting) 블록과 교차하며 나왔다. 분산주의 스캔에서는 초점주의만 분산주의로 변경하였고, 다른 조건은 초점주의 회기와 동일하였다. 각 실험 블록 안에는 12개의 시행이 있었다. 휴지 블록에는 단순히 응시점과 다음 블록에서 어떤 과제를 수행해야 하는지 지시하는 글자만올(U: 무주의 조건, F: 초점주의, D: 분산주의) 포함한 화면이 제시되었다. 초점주의 10 스캔과 분산주의 10 스캔은 무선적으로 한 세션 내에 제시되었다.

Kastner 등[6]이 보고한 초기 주의 효과를 없애기 위해서 각 스캔의 시작은 휴지 블록과 부가 실험 블록으로 구성되었다. 부가 실험 블록에서는 2개의 원이 2번에 나뉘어져 제시되었다. 따라서, 이 조건은 동시 제시 조건과 순차 제시 조건 그 어느 것보다 동일하지 않았다. 이 초기의 2개 블록은 분석에서 제외되었다.

절 차

그림 1은 실험의 시간적 절차를 나타낸다. 동시 제시 조건에서는 4개의 서로 다른 크기를 가진 원들이 300 ms 동안 동시에 제시되었고, 제시 시점은 0 ms, 300 ms, 600 ms, 900 ms 중 무선적으로 선택되었다. 나머지 1200 ms 동안은 빈 화면이 제시되었다. 순차 제시 조건에서는 각 원들이 순차적으로 300 ms 동안 제시되었다. 각 원이 제시되는 위치는 가상 2 x 2 행렬의 셀 중 무선적으로 선택되었고, 같은 위치에는 반복되지 않았다. 동시 제시 조건과 순차 제시 조건의 시행이 끝난 후에

는 300 ms의 빈 화면이 제시되었다. 이것은 각 시행을 구분하기 위함이었다. 제시된 자극을 시간에 따라 합하면, 두 제시 조건에서 각 위치당 자극이 제시된 시간은 동일하였다.

참가자들이 수행해야할 과제는 다음과 같았다. 무주의 조건과 휴지 블록에서는 T 또는 L이 나온 횟수를 세는 것이었다(스캔 시작시에 세어야 할 글자가 정해짐). 초점주의 조건에서는 단일 크기가 일치하는 참조원이 나온 횟수를 세는 것이었고, 분산주의 조건에서는 평균 크기가 일치하는 참조원이 나온 횟수를 세는 것이었다. 참가자들은 각 스캔이 끝나면 그 결과를 보고하였다. 스캔 동안에는 움직임을 방지하기 위해서 또한 작업기억이 고갈되는 것을 막기 위해 정해진 글자를 보고하지 않도록 하였다.

영상 획득

참가자들의 영상 획득을 위해 3.0 Tesla head-dedicated MAGNETOM Allegra 스캐너(Siemens, Green Hall, Princeton University)를 사용하였다. 모든 자극은 참가자들의 머리 뒤쪽에 있는 스크린에 Macintosh G4 컴퓨터를 통해 제시되었고, 참가자들은 거울을 통해 자극을 보았다. 기능영상은 18개의 관상면 절편(coronal slice)을 사용하여 얻었다(절편 두께: 3 mm, 절편 간 거리: 1 mm, in-plane resolution: 2.5 x 2.5 mm). 표준 T2-weighted echoplanar 영상을 이용하여 모든 기능영상을 획득했다(TR = 2000 ms, TE = 30 ms, flip = 90°). 하나의 스캔을 통해 99개의 volume을 획득했고, 스캔의 지속시간은 198초였다. 더 정확한 뇌 구조의 국재화(localization)를 위해 T1-MPRAGE 스캔을 사용하였다.

fMRI의 피질 사영(cortical mapping)과 평편화(flattening) 기술을 사용하여 각 시각 영역을 정의하기 위해서, 망막위상지도(retinotopy) 스캐닝이 참가자마다 실시되었다.

자료 분석

모든 분석은 Brain Voyager(Brain Innovation, Maastricht, Netherlands)를 통해 이루어졌다. 기능 영상의 잡음을 없애기 위해 움직임 보정과 영상 신호의 스캐너의 표류

(drift)에 의한 선형적 반응 추세 제거 과정을 거쳤다. 3 Hz의 고역 필터(high-pass filter)를 사용하여 시간적 평편화 작업을 수행하였고, 공간적 평편화는 적용하지 않았다. 기능 영상은 3차원 영상에 대응되었고, Talairach 좌표로 변형되었다. 최종 기능 영상 자료를 각 조건별로 대비를 정의하여 일반 선형 모델을 사용하여 분석하였다(hemodynamic lag을 보정하기 위해 gamma-function을 사용하였다).

자극들 간의 억제적 상호작용을 정량화하기 위해 감각 억제 지표를 사용하였다 $[(R_{SEQ} - R_{SIM}) / (R_{SEQ} + R_{SIM})]$; R=주어진 조건의 실험 블록 동안 4초의 hemodynamic delay 후에 얻어진 fMRI 반응의 평균; SEQ는 순차 제시 조건을 SIM은 동시 제시 조건을 의미]. 억제 지표가 커질수록 자극들 간의 억제적 상호작용이 커짐을 의미한다. fMRI 반응의 평균을 계산하기 위해서 무주의 조건과 주의 조건 모두에서 통계적으로 유의미한 활성화 수준을 가지는 부피소(voxel)만을 고려하였다(임계치: $p < .005943$). 무주의 조건과 주의 조건 모두에서 통계적으로 유의미한 활성화 수준을 나타내는 부피소만을 포함시키는 것은 동시 제시 조건에서 완전히 억제된 부피소들을 배제하는 것이라고 볼 수 있다. 하지만, Kastner 등[6]에서 볼 수 있듯이 무주의 조건 또는 주의 조건 중 하나라도 통계적으로 유의미한 활성화 수준을 나타내는 부피소를 포함하여 분석을 한 것도 결과의 경향에는 크게 영향을 주지 않았음을 알 수 있다.

시야의 극각도(polar angle)에 따라 나타나는 fMRI 반응의 양상은 영역간 다르게 나타난다[17][18]. 이 원리를 시각 영역 구분에 사용하기 위하여 회전 체커보드를 제시하고 fMRI 반응을 측정함으로써 각 피험자들의 망막 위상 지도를 작성할 수 있었다. 응시점(중심좌)으로부터 주변시까지의 이심률에 따른 신경 활동은 시간에 따라 이심률이 증가하도록 구성된 깜박이는 원들을 사용하여 측정할 수 있었다.

결과 및 논의

스캔을 하기 전에 각 조건에 따른(휴지, 순차 제시, 동시 제시) 글자 세기 과제의 수행율을 측정하였다. 글자 세기 과제의 정확률은 세 가지 조건에 대해 유의미한 차이를 보이지 않았다($F(2,10) = 1.604, p = .25$). 이것은 참가자들의 글자 세기 수행이 추가적으로 제시된 원들에 의해 방해받지 않았다는 것을 의미한다. 휴지

블록에서 글자 세기 과제의 수행(82.5%)은 순차 제시 블록(80.0%; $t(5) = 1.756, p = .14$)과 동시 제시 블록(79.5%; $t(5) = 1.280, p = .26$)의 수행 중 그 어느 것보다 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 스캐너 안에서의 초점주의 조건시 크기 대응(size matching) 수행(68.4%)은 분산주의 조건시 수행(67.5%)과 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다($F(1,5) = .092, p = .77$). 순차 제시 블록에서의 크기 대응 과제(원 하나의 크기가 같을 때 또는 원들의 평균 크기가 같은 때)의 수행(66.5%)은 동시 제시 블록에서의 수행(69.3%)과 유의미하게 다르지 않았다($F(1,5) = 1.145, p = .33$). 또한 순차 제시 조건과 동시 제시 조건 간의 상호작용도 유의미하지 않았다($F(1,5) = .475, p = .52$). 이 결과는 주의 조건과 자극 제시 조건에 있어서 fMRI 반응 크기의 차이가 과제 난이도 때문에 나타나는 차이가 아니라는 것을

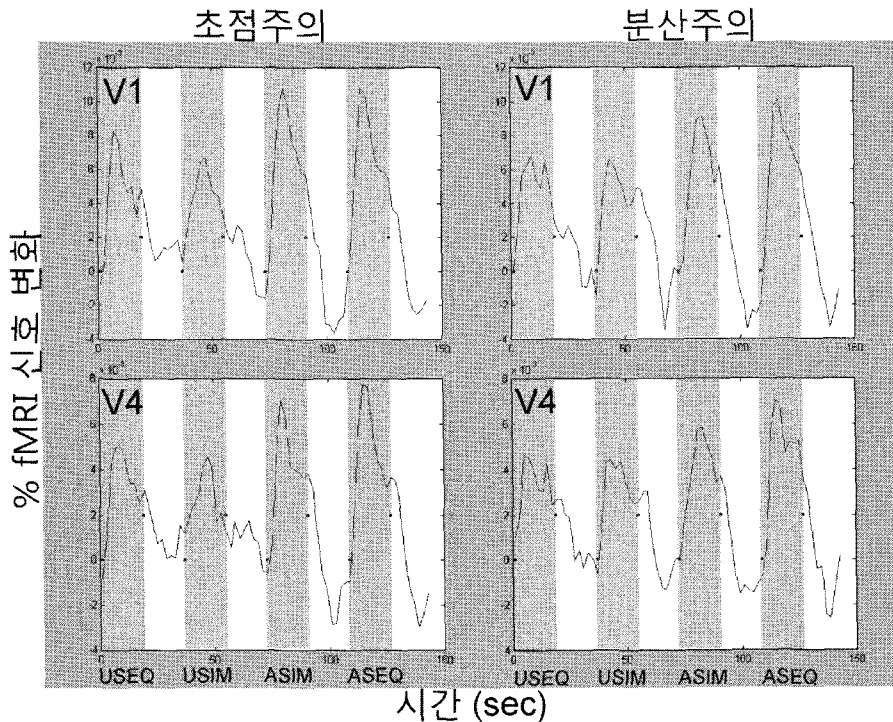


그림 2. fMRI 신호의 시간에 따른 변화. U는 무주의 조건을 A는 주의를 준 조건을 의미한다. SEQ는 순차 제시를 SIM은 동시 제시를 나타낸다.

시사한다.

그림 2는 fMRI 신호의 시간에 따른 변화를 보여주고, 그림 3은 시각 영역(V1, V4)에서의 각 조건에 따른 억제 지표를 나타낸다. 우선 초점주의 스캔과 분산주의 스캔을 각각 따로 분석하였다. 초점주의 스캔에서는 참가자들이 원들에 무주의 조건일 때, 억제 지표가 $V1(\mu(5) = 3.357, p < .05)$ 과 $V4(\mu(5) = 3.357, p < .05)$ 모두에서 통계적으로 유의미하게 0보다 컸다(억제 지표가 0일 때 자극들 간의 억제적 상호작용이 일어나지 않음을 의미한다). 이것은 주의를 받지 않은 자극들이 서로 결합하여 억제적 상호작용을 일으켰음을 의미한다. 뿐만 아니라, V4의 억제 지표는 V1의 억제 지표보다 더 컸다($\mu(5) = 2.896, p < .05$). 이 결과는 자극들 간의 억제적 상호작용이 수용장의 크기가 커질수록 더 커짐을 의미한다. V1의 각 신경세포는 수용장의 크기가 작기 때문에 실험에 쓰인 $5.1^\circ \times 5.1^\circ$ 의 크기에 제시된 원들 중 일부분만을 처리할 수밖에 없다. 따라서 자극들 간의 억제적 상호작용의 효과는 작을 것이다. 반면, V4의 신경세포는 큰 수용장을 가지기 때문에 제시된 원들 모

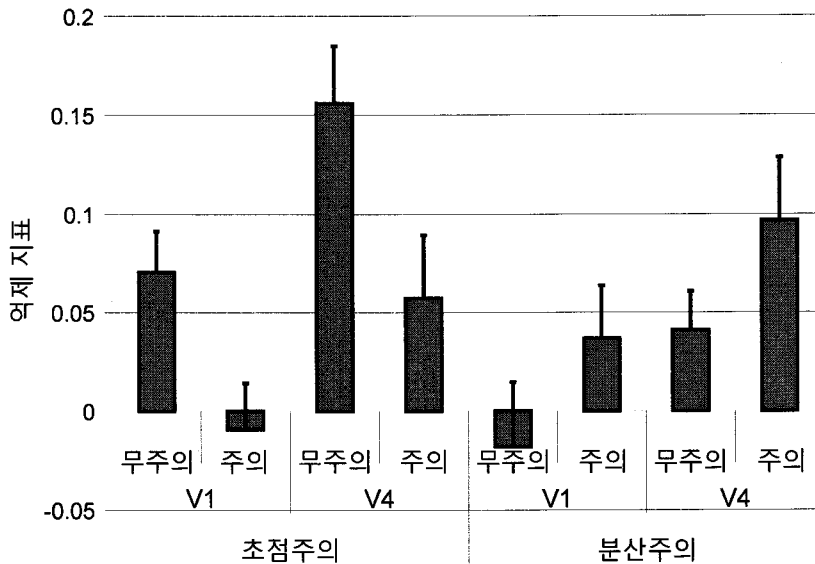


그림 3. 실험 결과. 오차막대는 평균의 표준오차를 나타낸다.

두를 처리할 수 있고, 따라서 더 큰 억제적 상호작용을 나타내는 것이다. Kastner 등[6][19]도 수용장 크기에 따라 억제적 상호작용이 비례하는 것을 발견하였다. 그들은 복측(ventral) 시각 영역을 활성화시키는데 적합한 복잡한 시각 자극을 사용하였다. 본 실험에서 비교적 단순한 원을 자극으로 사용하여 비슷한 결과를 얻었다는 것은 억제적 상호작용이 여러 다른 종류의 자극에도 일어날 수 있는 현상일 가능성을 시사한다.

순차 제시 조건에서 동시 제시 조건보다 더 큰 fMRI 반응을 얻을 수 있었는데, 그 원인은 순차 제시 조건에서 자극의 신속 개시(transient onset)가 더 많았기 때문일 가능성이 높다. 갑작스런 시각 자극의 개시는 주의를 끌고[20], 주의를 시각 자극의 존재 유무를 떠나서 fMRI 반응을 증가시킨다[21]. 따라서, 순차 제시 조건에서의 더 많은 자극의 신속 개시는 더 많은 주의를 끌 것이고, 그 결과 fMRI의 반응이 증가된 것이다. 그러나, Kastner 등[6][19]은 각 조건에서 신속 개시의 차이가 없는 경우에도 억제적 상호작용이 일어난다는 것을 밝힘으로써 신속 개시 수의 차이가 억제적 상호작용의 원인이 아니라는 것을 밝혀냈다.

참가자들이 하나의 원에 초점주의를 준 경우에 $V1(t(5) = .392, p=.71)$ 과 $V4(t(5) = 1.779, p = .14)$ 에서 억제 지표는 0과 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 예상했던 바와 같이 초점주의가 자극 간의 신경 활동의 경합에 있어서 주의를 받은 자극쪽으로 편향된 신경 활동을 야기했음을 시사한다. 상위 시각 영역으로 갈수록 억제 지표가 커지는 것과 초점주의로 인해 억제 지표가 작아지는 것은 Kastner 등[6]의 발견과 일치하는 결과이다.

분산주의 스캔에서는 참가자들이 원들에 무주의 조건일 때 V1에서는 유의미한 값을 가지지 않았던 반면에 $t(5) = .549, p < .61$, V4에서는 유의미한 값에 근접했다 $t(5) = 2.126, p = .087$. V1과 달리 V4에서는 모든 참가자의 억제 지표가 양의 값을 가졌다. 이것은 억제적 상호작용이 수용장의 크기에 비례한다는 Kastner 등[6][19]의 연구 결과가 또다시 반복 검증되었다는 것을 시사한다.

V4의 경우, 분산주의 스캔의 무주의 조건에서 억제 지표는 초점주의 스캔의 무주의 조건 억제 지표보다 유의미하게 작았다 $t(5) = 3.008, p < .05$. 이 결과는 분산주의 스캔과 초점주의 스캔의 무주의 조건에서의 과제와 자극이 일치했던 것을 고려해 볼 때 예상하지 못했던 결과이다. 분산주의 스캔의 무주의 조건에서 억제

지표가 줄어든 것은 자극의 동시 제시 때 fMRI 반응이 컸던 것에서 그 원인을 찾아볼 수 있을 것이다. 통계적으로 유의미하지 않았지만($\mu(5) = 1.969, p = .11$) 모든 참가자들은 분산주의 스캔의 무주의 조건에서 자극이 동시 제시되었을 때, 초점주의 스캔의 무주의 조건에서 자극이 동시 제시되었을 때보다 더 큰 fMRI 반응을 보였다. 순차 제시 조건에서의 fMRI 반응은 분산주의 스캔과 초점주의 스캔에서 유의미한 차이를 보이지 않았다($\mu(5) = 1.588, p = .17$). 윌콕슨 부호-순위 검정(Wilcoxon signed rank test)은 분산주의 스캔의 무주의 조건에서 자극의 동시 제시에 따른 fMRI 반응이 초점주의 스캔의 무주의 조건에서 자극의 동시 제시에 따른 fMRI 반응보다 통계적으로 유의미하게 더 컸음을 보여준다($p = .028$). 반면에, 순차 제시에 따른 fMRI 반응은 두 스캔 간에 유의미한 차이가 없었다($p = .345$). 무주의 조건에서 자극 제시 조건에 따른 fMRI 반응의 차이에 대해서는 후속 연구가 필요하다.

분산주의 스캔에서 V1의 억제 지표는 통계적으로 유의미한 값을 갖지 않았다($\mu(5) = 1.37, p = .23$). 하지만, V4에서는 초점주의와는 달리 유의미한 값을 보였다($\mu(5) = 3.031, p < .05$). 이 결과는 분산주의는 초점주의와는 달리 어느 한 자극에 편향된 신경반응을 일으키는 것이 아니고, 따라서 자극 간의 경합이 해결되지 않았음을 의미한다. 이것은 편향경합 모델[4][5][6]의 예측과 일치하는 결과이다. 편향경합 모델에 의하면 각 자극들이 동일한 크기의 세기를 갖는다면 억제적 상호작용은 변화가 없어야 하고, 이것은 본 실험 결과와 일치한다. 참가자들이 평균 계산을 위해서 모든 4개의 원들에 분산주의를 주고 있었을 때 각 원들의 신경 반응은 주의에 의한 동일한 상승효과를 받았을 것이다. 원들 간의 신경 반응은 서로 균형을 이루었고, 그 결과 억제적 상호작용에는 변화가 없었던 것이다. 편향경합 모델에 의하면 억제적 상호작용은 각 자극의 활성화 수준에 비례한다. 분산주의는 각 자극의 활성화 수준의 균형을 야기하고, 따라서 억제적 상호작용에는 변화가 없다.

V4의 억제 지표는 분산주의를 주었을 때 무주의 조건에 비해 유의미하게 더 큰 값을 갖는다($\mu(5) = 2.587, p < .05$). 하지만, 초점주의를 주었을 때는 무주의 조건에 비해 더 작은 값을 갖는다. 또한, 주의 종류(초점 혹은 분산) x 주의 유무 x 자극 제시(순차 혹은 동시)의 상호작용이 통계적으로 유의미했다($F(1,5) = 7.867, p < .05$). 이것은 초점주의는 억제적 상호작용을 줄인 반면, 분산주의는 그렇지 않았음

을 시사한다. 평균 크기를 계산하기 위해서는 참가자들은 모든 4개의 원에 주의를 주어야 한다. 모든 자극에 주의를 주었을 때 시각체계는 초점주의 때와는 달리 어느 한 자극에 편향되지 않는다. 분산주의는 여러 자극들의 평균 표상에 대한 신경 반응을 제공하는 반면에, 초점주의는 현재의 목적에 맞지 않는 정보를 여과해내는 역할을 한다.

종합 논의

본 연구의 목적은 인지 처리 용량의 한계를 극복하는 두 방법인 선택적 주의와 통계 표상의 신경 기제가 어떻게 다른지 알아보는 것이었다. 무주의 조건에서는 원들 간에 억제적 상호작용이 발생하였다. 이 결과는 Kastner와 그의 동료들[6]의 연구 결과를 보다 단순한 자극으로 반복 검증한 것이었다. 본 실험에서는 선택적 주의를 위한 초점주의와 통계 표상을 위한 분산주의로 인한 시각 영역의 신경 반응이 각각 어떻게 다른지도 알아보았다. 그 결과 V4에서 초점주의는 무주의 조건에 비해 억제적 상호작용을 감소시켜 억제 지표가 낮아졌으나 분산주의 조건에서는 억제적 상호작용의 변화가 없었다는 것을 발견하였다.

본 실험의 결과는 편향경합 모델[4][5][6]의 예측과 일치한다. 편향 경합 모델에 의하면 시야에 있는 여러 자극은 서로 경합을 하는 억제적 상호작용을 보이고, 그 결과 신경 반응의 크기는 감소한다. 선택적 주의를 주의 받은 자극만을 선택, 처리함으로써 억제적 상호작용을 감소시켜 그 경합을 해결하는 역할을 한다. 이때의 신경 반응은 선택적 주의를 받은 물체만이 시야에 존재하는 것처럼 나타난다. 만약 선택적 주의가 없다면 신경 반응은 여러 물체에 대한 신경 반응의 가중 평균이 된다. 신경 반응을 통해 볼 때 선택적 주의, 즉 초점주의는 시야에 놓인 여러 물체를 처리함에 있어서 현재의 목적에 적합한 자극만을 선택하여 처리하고 적합하지 않은 자극을 여과시켜 경합을 해결하는 역할을 한다.

편향경합 모델을 본 실험의 평균 갯수 세기 과제와 같은 분산주의 상황에 적용해 보면, 자극들의 평균 크기를 표상하기 위해 자극들에 주의를 분산시키는 경우에는 어느 한 자극에 편향된 처리가 발생하지 않을 것이다. 편향된 처리가 발행하

지 않으므로 분산주의에 의한 신경 반응은 억제적 상호작용에 의해 감소할 것이다. 본 연구 결과에 의하면 초점주의에 의한 억제 지표는 주의가 주어지지 않은 조건에 비해 작아진 반면 분산주의에 의한 억제 지표는 주의가 주어지지 않은 조건과 유사하였다. 이 결과는 편향경합 모델의 예측과 일치한다.

이와 같이 다른 신경기제를 가진 초점주의와 분산주의는 각각 통계표상의 수행에 어떤 영향을 줄 것인가? Chong과 Treisman[13]은 초점주의와 분산주의의 통계표상에 관한 영향을 조사하였다. 이들은 평균계산 과제와 다른 과제를 동시에 수행하는 이중과제 패러다임을 사용하였으며, 동시에 수행되는 과제의 종류에 따라 초점주의와 분산주의가 구분되었다. 동시에 수행하는 과제가 분산주의를 요구하는 경우 초점주의를 요구하는 경우보다 참가자의 평균과제 수행률이 높았다. 이는 분산주의가 통계표상에 더 유리한 주의모드임을 시사하며 본 연구 결과와 연관지어 생각해 볼 때 통계표상의 신경기제일 가능성을 시사한다. 분산주의 조건의 신경반응이 각 자극들 반응의 가중평균값이라는 본 실험의 결과는 이 신경반응이 각 자극들의 평균크기를 표상한다고 해석할 수 있다.

요약하면, 시야에 놓인 여러 자극들을 처리함에 있어서 선택적 주의는 초점주의에 의해 필요 없는 자극의 처리를 여과하고 목적에 맞는 자극만을 선택적으로 처리하는 반면, 통계 표상은 분산주의모드에서 여러 자극들의 처리가 동시에 이루어지게 한다. 통계표상의 신경기제는 억제적 상호작용에서 나타나는 모든 자극에 대한 신경반응이 각 자극들에 대한 신경반응의 평균값으로 수렴하는 현상으로 설명될 수 있다.

참고문헌

- [1] Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 3, 179-197.
- [2] Scholl, B. J., & Pylyshyn, Z. W. (1998). Tracking multiple items through occlusion: Clues to visual objecthood. *Cognitive Psychology*, 38, 259-290.
- [3] Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for

- features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- [4] Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
- [5] Reynolds, J., Chelazzi, L., & Desimone, R. (1999). Competitive mechanisms subserve attention in macaque areas V2 and V4. *Journal of Neuroscience*, 19, 1736-1753.
- [6] Kastner, S., De Weerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1998). Mechanisms of directed attention in the human extrastriate cortex as revealed by functional MRI. *Science*, 282, 108-111.
- [7] Watamaniuk, S. N. J., Sekuler, R., & Williams, D. W. (1989). Direction perception in complex dynamic displays: The integration of direction information. *Vision Research*, 29, 47-59.
- [8] Watamaniuk, S. N. J., & Duchon, A. (1992). The human visual system averages speed information. *Vision Research*, 32, 931-941.
- [9] Dakin, S. C. (1997). The detection of structure in Glass patterns: Psychophysics and computational models. *Vision Research*, 37, 2227-2246.
- [10] Ariely, D. (2001). Seeing sets: Representation by statistical properties. *Psychological Science*, 12, 157-162.
- [11] Chong, S. C., & Treisman, A. (2003). Representation of statistical properties. *Vision Research*, 43, 393-404.
- [12] Chong, S. C. & Treisman, A. (2005a). Statistical processing: computing the average size in perceptual groups. *Vision Research*, 45, 891-900.
- [13] Chong, S. C. & Treisman, A. (2005b). Attentional spread in the statistical processing of visual displays. *Perception & Psychophysics*, 67, 1-13.
- [14] Oliva, A. & Torralba, A. (2006). Building the gist of a scene: The role of global image features in recognition. *Progress in Brain Research: Visual perception*, 155, 23-36.
- [15] Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433-436.
- [16] Teghtsoonian, M. (1965). The Judgment of size. *American Journal of Psychology*, 78, 392-402.
- [17] Engel, S. A., Glover, G. H., & Wandell, B. A. (1997). Retinotopic organization in

- human visual cortex and the spatial precision of functional MRI. *Cerebral Cortex*, 7, 181-192.
- [18] Sereno, M. I., McDonald, C. T., & Allman, J. M. (1994). Analysis of retinotopic maps in extrastriate cortex. *Cerebral Cortex*, 4, 601-620.
- [19] Kastner, S., De Weerd, P., Pinsk, M. A., Elizondo, M. I., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (2001). Modulation of sensory suppression: Implications for receptive field sizes in the human visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 86, 1398-1411.
- [20] Jonides, J., & Yantis, S. (1988). Uniqueness of abrupt visual onset in capturing attention. *Perception & Psychophysics*, 43, 346-354.
- [21] Kastner, S., Pinsk, M. A., De Weerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1999). Increased activity in human visual cortex during directed attention in the absence of visual stimulation. *Neuron*, 22, 751-761.\

1 차원고접수 : 2007. 9. 5

2 차원고접수 : 2007. 11. 6

최종게재승인 : 2007. 11. 19

(Abstract)

The neural mechanism of distributed and focused attention and their relation to statistical representation of visual displays

Sang Chul Chong^{1,2}

Sung Jun Joo¹

¹Graduate program in Cognitive Science, Yonsei University

²Department of Psychology, Yonsei University

Many objects are always present in a visual scene. Since the visual system has limited capacity to process multiple stimuli at a time, how to cope with this informational overload is one of the important problems to solve in visual perception. This study investigated the suppressive interactions among multiple stimuli when attention was directed to either one of the stimuli or all of them. The results indicate that suppressive interactions among multiple circles were reduced in V4 when subjects paid attention to one of the four locations, as compared to the unattended condition. However, suppressive interactions were not reduced when they paid attention to all four items as a set, in order to compute their mean size. These results suggest that whereas focused attention serves to filter out irrelevant information, distributed attention provides an average representation of multiple stimuli.

Keywords : fMRI, distributed attention, focused attention, statistical representation, biased competition model, suppressive interaction