

The effect of attention and perceptual learning of binocular integration on reducing imbalanced interocular suppression*

Eunbin Lee¹, Ji Woong Chang^{1,2}, Sang Chul Chong^{1,3†}

¹Graduate Program in Cognitive Science, Yonsei University

²Department of Ophthalmology, Inje University Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Goyang, Korea

³Department of Psychology, Yonsei University

People, who have a large difference in visual acuity between the two eyes, have trouble in binocular integration because of imbalanced interocular suppression which occurs before binocular summation (Meese, Georgeson, & Baker, 2006). To reduce imbalanced interocular suppression, the current study first compared three SED - measurement methods suggested by previous studies (Experiment 1). In Experiment 2, we selected participants who had large imbalance of interocular suppression by using Xu, He, and Ooi (2012)'s method which had the highest reliability and reflected the other visual abilities better than the other methods in Experiment 1. Those who were selected participated in Experiment 3, designed to reduce imbalance of interocular suppression by using a push-pull protocol (Xu, He, & Ooi, 2010) and perceptual learning of binocular integration (Hess, Mansouri, & Thompson, 2010). We found both training methods were effective in reducing imbalance of interocular suppression. The effect of non-dominant eye-specific attention was manifested in two different ways: facilitating information processing of a non-dominant eye and suppressing a dominant eye for faster emergence of significant reduction of the interocular suppression. Our results suggest that non-dominant eye-specific attention plays a critical role in reducing imbalanced interocular suppression.

Keywords: Attention, Perceptual learning, Interocular suppression, Amblyopia

1 차원고접수 18.04.18; 수정원고접수 18.09.06; 최종게재결정 18.09.06

인간은 두 눈을 사용해 하나의 세상을 지각한다. 이는 초기 시각 처리 과정에서부터 두 눈을 통해 들어온 두 개의 이미지가 하나로 통합되어 지각되기 때문이다(Dieter, Sy, & Blake, 2017). 이 과정을 양안 통합(binocular integration)이라고 하며, 양안 통합 능력의 발달은 초기 시각 발달 과정에서부터 시작한다(Banks, Aslin, & Letson, 1975). 그러나 만약 이 시기에 사시, 부동시, 선천적 백내장 등의 시력 장애로 인해 양안 이미지를 통합하지 못하게 되면, 약시가 발생

할 확률이 높아진다(Hess, Thompson, & Baker, 2014).

약시란 안과적 검사 상으로 건강한 눈을 가지고 있으나, 적절한 교정을 해주었음에도 두 눈의 교정시력이 좋지 못하거나(Levi & Li, 2009), 한 눈의 시력은 양호하나 다른 눈의 시력이 시력검사표에서 두 줄 이상 떨어져 있을 때로 정의된다(Wick et al., 1992). 예를 들면, 시력검사표를 통해 측정된 시력이 한쪽 눈은 0.5, 다른 쪽 눈은 0.32이하가 되는 경우이다²⁾. 약시가 발생하면 높은 공간 주파수 자극에 대한

* 이 성과는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1A2B4016171).

† 교신저자: 정상철, 연세대학교 인지과학협동과정 및 심리학과, (03722) 서울특별시 서대문구 연세로 50

E-mail: scchong@yonsei.ac.kr

1) 사시란 두 눈의 시축이 일치하지 못하는 경우, 부동시는 두 눈의 굴절률 차이가 심한 경우, 선천적 백내장은 영아의 수정체가 혼탁해진 상태를 각각 지칭한다.

대비 민감도가 낮아지거나(Levi, Knill, & Bavelier, 2015), 배열 시력(Vernier acuity)이 저하된다(McKee, Levi, & Movshon, 2003). 또한, 방위(orientation) 정보 통합 능력이 감소하고(Levi & Saarinen, 2004) 입체시 능력이 떨어진다(Ding & Levi, 2011; Levi et al., 2015).

약시 환자들의 입체시 기능이 감소하는 원인은 양안 통합 능력 부족이 아닌 양안 간 불균형적인 상호 억제이다(Baker et al., 2007; Mansouri, Thompson, & Hess, 2008; Meese, Georgeson, & Baker, 2006). Baker 등(2007)은 비우세안에 자극의 강도(예, 대비)를 강하게 하여 정현파 격자를 제시하는 경우, 사시성 약시 환자와 정상군의 양안 통합 능력 간에 통계적으로 유의한 차이가 없다는 것을 발견하였다. 이를 통해 그들은 약시 환자의 양안 통합 능력은 정상이며, 그 이전 단계에서 발생하는 양안 간 불균형적인 억제가 양안시 기능 저하의 원인임을 밝혔다.

약시 환자들의 양안시 기능 저하 원인이 불균형적 양안 간 억제로 밝혀짐에 따라 양안 간 억제 측정법(Black et al., 2011; Mansouri, et al., 2008; Xu, He, & Ooi, 2010; Yang, Blake, & McDonald II, 2010)과, 양안 억제 관계에 초점을 맞춘 새로운 양안 훈련법(Hess, Mansouri, & Thompson, 2010; Xu et al., 2010)들이 제안되었다.

Mansouri 등(2008)은 양안 간 억제 측정법으로 두 가지 과제를 제안하였다. 두 과제 모두 양안에 자극의 망막상 위치가 중첩되지 않도록 제시되었으며, 첫 번째 과제는 무선점 운동자극(random dot kinematogram)을 활용한 응집 운동 방향 변별 과제(coherence motion discrimination task)였다. 두 번째 과제는 방위 정보가 있는 가보 자극을 활용한 평균 방위 변별 과제(mean orientation discrimination task)였다. 두 과제 모두 각기 신호(signal) 자극과 잡음(noise) 자극을 사용했다. 참가자의 과제는 양안에 동시 제시되는 신호 자극과 잡음 자극의 평균 움직임 방향(응집 운동 방향 변별 과제)과 평균 방위를 변별하는 것이었다. Black 등(2011)은 Mansouri 등(2008)의 방법보다 편리하고 적은 시행으로 측정 결과를 얻을 수 있는 양안 간 억제 측정법을 제안하였다. 이들은 양안 응집 운동 과제를 두 단계로 나누어 실시하였다. 먼저 첫 번째 단계에서 참가자가 79% 정답을 맞히기 위해 필요한 신호 자극과 잡음 자극의 개수를 구한 후 그의 비율(양안 응집 운동 역치: binocular motion coherence threshold)을 구했다. 두 번째 단계에서는 첫 번째 구해진 양안 응집 운동 역치를 활용하여 신호 대비 잡음 비율(signal to noise ratio)은 유지한 상태로 각 눈에 제시되는 자극의

대비를 조정하여 참가자의 반응이 79%의 정확도를 나타내는 시점에서 두 화면 대비의 비율(양안 대비 역치: dichoptic contrast threshold)을 구했다. 양안 간 억제는 두 번째 단계를 통해 구해진 양안 대비 역치로 정의되었다.

반면 Xu 등(2010)과 Yang 등(2010)은 양안에 제시되는 자극의 망막상의 위치가 중첩되는 과제를 사용한 측정법을 제안하였다. Xu 등(2010)은 직교하는 방위의 정현파 자극을 사용한 양안 경합 패러다임을 제안하였다. 이 과제에서 참가자는 두 자극 중 어느 자극이 우세해 보이는지를 응답하였고, 참가자의 응답에 따라 두 자극 중 하나의 자극(예, 수직 방위 정현파 자극)의 대비가 변화하였다. 직교하는 방위의 두 정현파 자극이 우세하다고 응답되는 비율이 동등해졌을 때, 대비가 조절되던 자극의 대비를 지각적 균형점(balance contrast)이라고 정의하였다. 두 눈에서 구해진 각 지각적 균형점의 차이를 SED(sensory eye dominance)라고 정의하였으며, 이를 양안 간 억제의 크기로 정의하였다. Yang 등(2010)은 CFS(continuous flash suppression) 자극을 사용한 과제를 제안하였다. 계속해서 변화하는 몬드리안 패턴으로 구성된 CFS 자극과 화살표 자극이 양안에 제시되었으며, CFS 자극의 대비는 점차 낮아지는데 반해 화살표 자극의 대비는 점차 높아졌다. 참가자의 과제는 화살표 자극이 지각되는 순간 그 방향을 맞추는 것이었다. 이 과제에서 양안 간 억제는 두 눈에 각기 제시된 화살표 자극에 대한 반응 시간의 비율로 정의되었다.

양안 간 억제에 초점을 맞춘 양안 훈련법으로 Xu 등(2010)은 양안 간 억제의 불균형을 해소하고자 푸시풀 지각 학습법(push-pull training)을 제안하였다. 이들은 양안 경합 패러다임 내에서 우세안에 비해 높은 강도(예, 높은 대비)의 자극을 비우세안에 제시할 뿐 아니라, 자극 제시 이전 비우세안에 주의 단서를 제시함으로써 비우세안에 제시되는 자극이 지각적 우세를 갖도록 유도하였다. 이와 같은 조작을 통해 우세안이 비우세안보다 항상 지각적으로 우세했던 고착된 역동에서 벗어나 새로운 양안 간 역동을 참가자에게 형성시키는 것이 이 학습법의 핵심이다.

Hess 등(2010)은 푸시풀 지각 학습법과 같이 양안에 모두 자극을 제시하지만, 두 자극이 경쟁하지 않고 양안 간 통합될 수 있는 학습법을 제안하였다. 이들은 양안에 신호 자극과 잡음 자극을 각각 위치가 중첩되지 않게 제시하여, 두 눈을 통해 들어온 자극을 모두 지각하고 통합해야 정확한 반응을 할 수 있는 과제들을 고안하였다. 이들의 양안 통합 지각 학습법 역시 Xu 등(2010)의 푸시풀 지각 학습법과 마찬가지로

2) 진용한 시력표를 기준으로 0.5는 밑에서 4번째, 0.32는 6번째에 위치하고 있다.

로 비우세안 자체에서 신호가 약화되는 것을 보완하기 위해 비우세안에는 자극의 대비를 높여 우세안 자극에 비해 강한 강도의 자극을 제시하였다. 그러나 이 지각 학습법에서는 두 눈에 제시된 자극의 망막상 위치가 서로 중첩되지 않기 때문에 양안 경합이 발생하지 않는다. 뿐만 아니라 과제 특성상 양안 정보 통합 과정을 거쳐야 한다는 점에서 푸시폴 지각 학습법과 다르다. 더욱이 이 학습법은 지각되는 양안 자극 간 강도를 동등한 수준으로 조절할 뿐, 비우세안에 주의 단서를 제공하여 비우세안의 정보가 지각적 열세에서 벗어나도록 유도하지 않았다. 그러므로 이 학습법은 양안 간 우열 관계를 재형성하는 것보다 양안 자극 간 강도의 균형을 맞추는 상태에서 양안 정보의 통합 과정을 학습하는데 초점을 맞추었다고 할 수 있다.

Xu 등(2010)의 푸시폴 지각 학습법은 양안 경합 패러다임을 통해 자극을 제시하고, 비우세안에 주의 단서를 줌으로써 양안 간 우열 관계를 재형성하는데 목적을 두고 있다. 반면 Hess 등(2010)의 지각 학습법은 균형적인 양안 정보 통합을 학습하는데 목적을 두고 있다. 두 지각 학습법 모두 비우세안의 시력 향상뿐만 아니라 저하된 양안시 능력을 향상시키는 데 효과적이다(Hess et al., 2010; Xu et al., 2010). Hess와 Thompson(2015)은 푸시폴 지각 학습법보다 Hess 등(2010)의 양안 통합 지각 학습법이 더욱 완전한 양안 훈련법이라고 주장하였으나, 두 지각 학습법의 훈련 효과를 비교한 연구는 없었다. 또한, 여러 연구자들이 양안 간 억제 불균형 정도를 측정할 수 있는 여러 방법을 제안하였지만, 이 방법들을 직접 비교한 연구는 없었다.

본 연구는 먼저 여러 연구자들이 제안한 불균형적인 양안 간 억제 정도를 측정하는 여러 방법 중 어느 방법이 가장 신뢰할 수 있는지, 입체시와 같은 다른 시각 기능을 가장 잘 반영하는지를 알아보고자 했다(실험 1). 그 후 실험 1에서 선정된 방법을 이용해 정상군 중 일정 수준 이상의 양안 간 억제의 불균형을 형성하고 있는 참가자를 모집했다(실험 2). 마지막으로 실험 2에서 선정된 참가자를 대상으로 양안 훈련법 중 어느 훈련법이 더 효과적인지, 두 지각 학습법을 함께 실시할 경우 훈련 효과가 더 향상되는지를 알아보고자 하였다(실험 3).

실험 1. 양안 간 억제 측정법 비교

실험 1에서는 여러 연구자들이 제안한 양안 간 억제(sensory eye dominance: SED) 측정법들을 비교하였다. 본 실험에서 사용된 측정법은 총 세 가지였다. 먼저 양안 경합 패러다임

(Xu et al., 2010), 두 번째로 응집 운동 방향 변별 과제(Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008), 마지막으로 bCFS 과제(breaking Continuous Flash Suppression, Yang et al., 2010)이다. 본 실험에서는 각 측정법들을 활용해 얻어진 측정치의 검사-재검사 간 신뢰도를 측정하였다. 또한 각 측정치들과 시력, HIC 검사(Hole-in-card test)를 통해 측정된 시야 우세안(sighting dominant eye), 그리고 입체시 능력과의 상관관계를 분석하였다.

방 법

참가자

연세대학교 학생 총 31명(여: 19명, 남: 12명)이 참가하였으며, 이들의 평균 나이는 23.39세(표준편차: 2.20)였다. 이 중 실험 절차를 전혀 이해하지 못해 실험 진행 중단을 요청한 1명은 추후 분석에서 제외되었다. 이들은 모두 나안 혹은 교정시력이 0.8 이상이었으며 모두 정상적인 색채시가 가능하였고, 임상적으로 약시 진단을 받지 않은 정상군에 속했다. 본 실험은 연세대학교 IRB의 승인 하에 이루어졌고, 참가자들은 모두 실험 참가 동의를 작성한 후 실험에 참여하였다. 측정치 내 반복 측정 신뢰도를 알아보기 위해 참가자들은 최소 일주일에서 최대 이주일 내의 간격으로 연구실에 재방문해 동일한 절차의 실험에 한 번 더 참여하였다.

기구

컴퓨터를 활용한 실험(시력 검사와 HIC 검사를 제외한 모든 실험)은 빛이 차단된 암실에서 컴퓨터를 이용하여 진행되었다. 실험 자극의 제시와 반응 기록은 Matlab과 Psychophysics Toolbox로 제작된 프로그램을 이용하였다(Brainard, 1997; Pelli, 1997). 자극은 해상도 1280×960, 주사율 85Hz인 2개의 21인치 CRT 모니터에 제시되었다. 양안에 다른 자극을 제시하기 위해 반사식 입체경(mirror stereoscope)이 사용되었다. 참가자와 모니터까지의 거리를 65cm로 일정하게 유지하기 위하여, 이마-턱 받침대(chin and forehead rest)를 사용하였다. 이 거리에서 1 pixel은 약 0.028° 이었다.

재료 및 절차

시력 검사. 시력은 진용한 시력표(Jin, 1997)를 이용해 측정되었다. 참가자의 시력은 시력표로부터 4m 떨어진 거리에서 측정되었으며, 오른쪽 눈부터 측정되었다. 한 줄에서 2개 이상을 틀리게 읽거나, 모르겠다고 응답하면 시력 측정은 종료

되었다. 한 줄에서 3개 이상을 맞추었을 때의 최대 측정치가 참가자의 시력으로 정의되었다.

HIC 검사(Hole-in-card). 시야 우세안은 Yang 등(2010)의 HIC 검사 방법을 실험실 상황에 맞게 수정해 측정되었다. 구체적으로 빨간색 십자가(2.4×2.4cm)가 자극으로 사용되었으며, 참가자로부터 4m 떨어진 거리에 제시되었다. 사용된 카드는 직사각형 모양(13×20cm) 가운데에 동그란 구멍(지름 1.5cm)이 뚫린 모양이었다. 측정은 먼저 참가자들이 두 눈을 뜬 채로 카드를 왼 팔을 최대한 뻗어 4m 떨어진 곳에 제시된 빨간색 십자가가 카드의 가운데 구멍 중앙에 위치하도록 조정하는 것에서 시작되었다. 그 후 참가자들은 그 자세를 그대로 유지한 채로 한 쪽 눈을 차례대로 감아 여전히 빨간색 십자가가 보이는 쪽을 응답하도록 지시받았다. 응답 이후 참가자들은 손을 내려 유지하던 자세를 풀 다음 같은 과정을 한 번 더 반복하도록 지시받았다. 검사는 참가자에 따라 최소 2번에서 최대 6번까지 진행되었으며, 3번 이상 진행하는 참가자의 경우 3번 이상 연속으로 같은 눈을 시야 우세안이라고 응답할 때 종료되었다.

양안 정렬 과제. 컴퓨터를 활용한 과제를 시작하기 이전 참가자들은 양안에 제시되는 화면을 하나로 지각하기 위해 양안 정렬 과제에 참여하였다. 먼저 Figure 1의 흰 색과 검은 색 동그라미(직경: 0.55°)로 이루어진 사각형 틀(19.10°×19.10°)이 두 개의 모니터 화면 중앙에 제시되었다. 사각형 틀 중앙에는 십자 응시점(0.99°, 두께: 0.08°)과 0.91°거리를 두고 8개의 선분(0.55°, 두께: 0.08°)이 제시되었다. 이때 한 쪽 모니터의 십자 응시점은 초록색, 다른 쪽 모니터의 십자 응시점은 검은색으로 제시되었다. 참가자들은 키보드의 방향키(상, 하, 좌, 우)를 이용해 제시되는 화면이 하나의 십자 응시점과 위아래 선분이 일직선상에 놓인 것으로 지각되도록

조절하였다.

스페이스 바를 누름으로써 양안에 제시되는 이미지가 전환되었고, 참가자들은 전환된 화면에서도 두 개의 이미지가 양안 간 잘 정렬되도록 키보드의 방향키를 이용해 조절하였다. 참가자들은 키보드의 방향키(상, 하, 좌, 우)를 이용해 제시되는 화면이 하나의 십자 응시점과 위아래 선분이 일직선상에 놓인 것으로 지각되도록 조절하였다. 스페이스 바를 누름으로써 양안에 제시되는 이미지가 전환되었고, 참가자들은 전환된 화면에서도 두 개의 이미지가 양안 간 잘 정렬되도록 키보드의 방향키를 이용해 조절하였다. 반응 시간 및 횟수에는 제한이 없었고, 참가자 스스로가 두 이미지가 잘 정렬되었다고 지각될 때까지 이 과정을 반복하였다. 참가자가 두 이미지를 잘 정렬하였다고 판단하면 키보드의 Esc키를 눌러 이 절차를 종료하였다. 본 과정은 컴퓨터를 활용한 과제를 실시하기 이전 한 번만 진행되었다. 그러나 만일 참가자가 실험 도중 양안의 이미지가 중첩되지 않는다고 지각하면 이 과정을 다시 반복할 수 있었다.

입체시 측정. 입체 시력은 Kham(2015)의 연구에서 사용된 가보(Gabor)의 위상(phase)을 활용한 방법을 수정해 측정하였다. 절차는 Figure 2와 같다. 먼저 흰 색과 검은 색 동그라미(직경: 0.44°)로 이루어진 사각형 틀(6.27°×6.27°)이 양안 융합을 돕기 위해 제시되었다. 사각형 틀 중앙에 흰 색과 검은 색 동그라미로 이루어진 동그라미 응시점(흰 원- 직경: 0.17°, 검은 원- 직경: 0.44°)이 제시되었다. 참가자들은 가운데 동그라미 응시점이 하나로 잘 지각되는지 확인하였고, 그 후 스페이스 바를 눌러 시행을 시작하였다. 사용된 자극은 1.93° 크기의 가보 자극으로, 공간주파수는 3cpd(cycles per degree), 대비는 100%이었다. 한 화면에 총 4개의 가보 자극이 제시되었으며, 가보 자극 간 거리는 0.44°이었다. 사각형의 정렬을 단서로 하여 정답을 결정할 수 있기 때문에

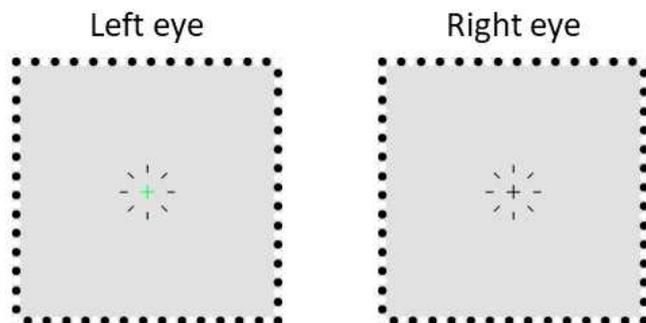


Figure 1. Display of binocular alignment experiment. Central fixation crosses with different colors (one is green and the other is black) and surrounding line segments were presented to each eye together with fusion frames to test binocular alignment. The displays were switched between two eyes when participants pressed a space key.

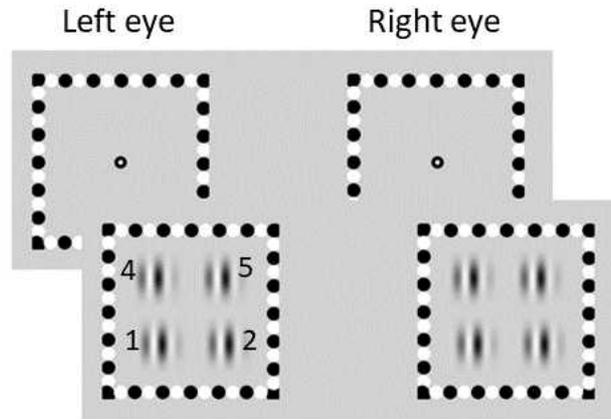


Figure 2. Stimuli of stereo threshold measurements. A trial began with central bull's eye fixations and fusion frames. When participants confirmed that the two central fixations were aligned, they were asked to press the space bar. After that four Gabor stimuli were presented. Participants were asked to find the one which had larger binocular disparity than others by pressing the corresponding number key on the keyboard. Each stimulus was assigned to a specific number as in the left-bottom side (The numbers were not presented during experiment). Stimuli were presented until participants' responses.

이를 방지하고자 자극의 제시 위치는 매 시행 4픽셀 범위 내에서 무선적으로 변화하였다(Kham, 2015).

네 개의 가보 자극 중 세 개는 동일한 양안 시차(disparity)를 가지고 있어 동일한 평면상에 위치하는 것처럼 지각되었다. 그러나 나머지 한 개의 가보 자극은 그보다 큰 양안 시차를 가지고 있어 다른 세 개의 가보 자극보다 더 참가자 쪽으로 튀어나와 있는 것처럼 지각되었다. 제시되는 화면에서 참가자는 다른 세 개의 표준 자극에 비해 큰 양안 시차 때문에 앞으로 튀어나와 보이는 자극을 찾아 그 위치에 해당된 번호(Figure 2)를 키보드의 번호 키패드를 이용해 응답하였다.

SED 측정

양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010). 수평 방위, 수직 방위를 가지고 있는 원 모양의 정현파 격자(Figure 3) 한 쌍이 자극으로 사용되었다. 각 격자의 공간주파수는 3cpd 이었으며, 자극의 크기는 1.15° 이었다. 자극 쌍 중 하나의 자극(예, 수평 방위)의 대비는 1.5로그(log unit, 31.62%)로 고정되었고, 다른 자극(예, 수직 방위)의 대비는 참가자의 반응에 따라 계단법(staircase procedure)을 사용하여 조절되었다. 격자가 제시된 위치는 중심좌로부터 2° 떨어진 위치 8곳(0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 그리고 315°) 중 한 곳이었다(Xu et al., 2010).

양안 통합을 돕고자 흰 색과 검은 색 원(직경: 0.5°)으로 이루어진 사각형 틀($7.98 \times 7.98^\circ$)이 실험 진행 동안 계속해서 제시되었다(Figure 3). 차폐 자극은 45° 와 135° 의 방위로 이루어진 바둑판 모양의 정현파 격자이었다(Figure 3). 차폐

자극의 공간주파수는 3cpd, 크기는 7.5° , 대비는 1.5로그(31.62%)였다.

Figure 3에 Xu 등(2010)의 SED 측정 절차가 제시되었다. 참가자가 제시된 두 화면의 응시점을 한 개로 지각하면 키보드의 스페이스바를 눌러 시행을 시작하였다. 양 눈에 다른 방위를 가진 격자가 지정된 위치에 500ms동안 제시되었고, 이 후 차폐 자극이 200ms동안 제시되었다. 차폐 자극이 사라진 후 참가자는 이전에 제시되었던 격자 자극의 지각된 방위를 응답하도록 요청받았다. 참가자는 키보드의 숫자 패드를 이용하여 제시된 자극이 수평 방위 격자로 지각되었으면 1번, 수직 방위 격자로 지각되었으면 2번을 눌러 응답하였다. 만일 두 방위의 격자가 혼합되어 지각되었을 경우, 기존에 설정한 본인의 내적 기준에 따라 두 격자 중 조금이라도 더 우세해 보이는 격자를 일관되게 응답하도록 지시받았다. 실험 시작 전 참가자에게 내적 기준의 예로 둘 중 먼저 보인 방위의 격자를 응답하거나, 좀 더 높은 비율을 차지하고 있는 것 같은 방위를 응답하는 것을 제시하였다.

응집 운동 방향 변별 과제(Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008). 무선점 운동 자극을 이용한 응집 운동 방향 변별 과제를 통한 SED 측정은 총 2개의 단계를 통해 진행되었다. 먼저 첫 번째 단계에서는 참가자의 양안 응집 운동 역치가 측정되었다. 양안 응집 운동 역치란 참가자가 응집 운동 방향을 변별하기 위해 필요한 신호 자극(예: 일정한 방향으로 움직이는 점)의 개수를 의미한다. 그 이후 두 번째 단계에서는 양안 대비 역치를 측정했다. 양안 대비 역치란 한 쪽 눈에는 참가자의 양안 응집 운동 역치만큼의 신호 자극이

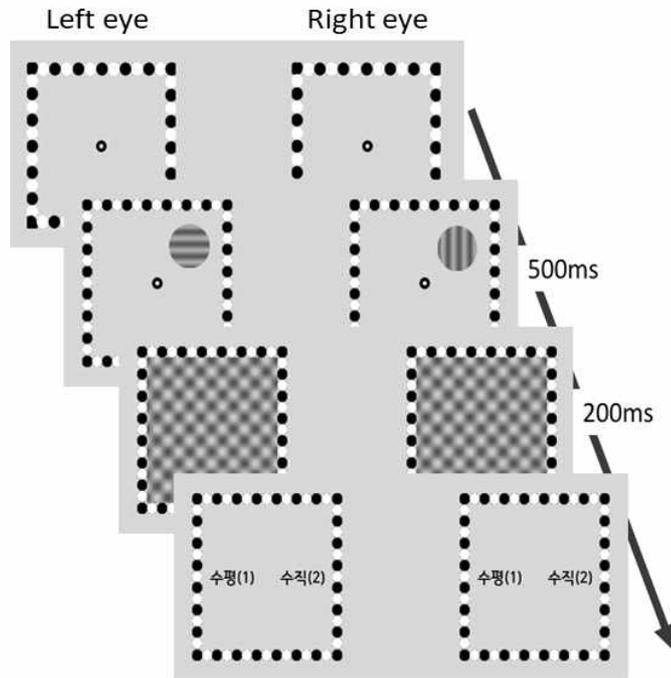


Figure 3. Procedure of SED measurement by Xu et al. (2010). A trial began with central bull's eye fixations and fusion frames. When participants confirmed that the two eye fixations were aligned, they were asked to press the space bar. After that a pair of orthogonal sinusoidal gratings were presented to each eye (one is horizontal and the other is vertical) for 500ms, the mask displays were presented for 200ms. Participants were asked to report their percepts by pressing the corresponding number keys on the keyboard.

제시되고 다른 쪽 눈에는 잡음 자극(예: 무작위 방향으로 움직이는 점)이 제시될 때, 참가자가 75%의 정확도로 움직이는 방향을 변별하기 위해 필요한 잡음 자극의 대비로 정의되

었다.

Figure 4에 첫 번째 단계의 절차가 나타나 있다. 먼저 흰색과 검은색 동그라미(직경: 0.55°)로 이루어진 사각형 틀

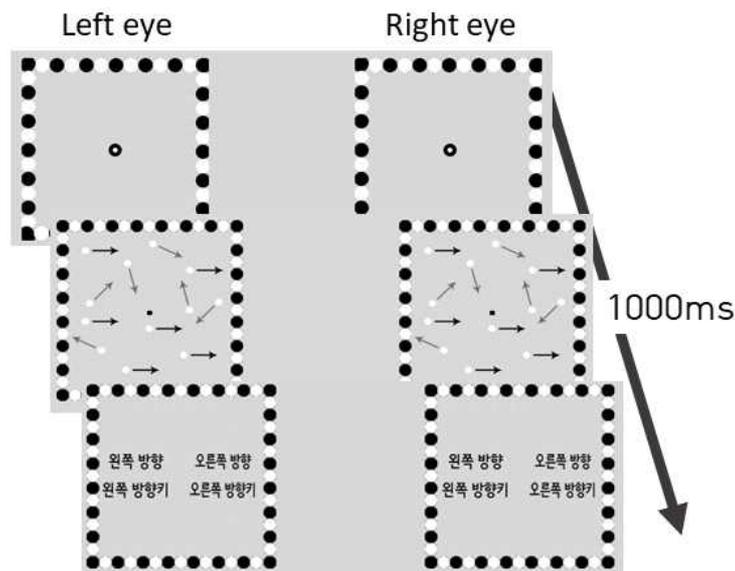


Figure 4. Procedure of SED measurement by Black et al. (2011) & Mansouri et al. (2008). Measurements of binocular motion coherence threshold. A trial began with central bull's eye fixations and fusion frames. After binocular alignments, signal dots which were moving coherently (indicated by black arrows) and noise dots (indicated by gray arrows) which were moving randomly were presented to each eye for 1000ms. Participants were asked to report mean direction of moving dots by pressing the arrow keys on the keyboard.

($19.10^{\circ} \times 19.10^{\circ}$)이 두 개의 모니터 화면 중앙에 제시되었다. 사각형 틀 중앙에 흰 색과 검은 색 동그라미로 이루어진 동그라미 응시점(흰 원- 직경: 0.17° , 검은 원- 직경: 0.44°)이 제시되었다. 참가자들은 가운데 동그라미 응시점이 하나로 지각되는지 확인하였고, 그 후 스페이스 바를 눌러 시행을 시작하였다. 양안 응집 운동 역치를 측정하기 위해 양안에 동일한 자극이 1초 동안 제시되었다(Figure 4). 화면 중앙에는 검은 색 동그라미 응시점(직경: 0.13°)이 제시되었으며, 자극인 흰 색 점들(직경: 0.4°)은 1초에 3.36° 씩 움직였다. 자극들의 대비는 모두 100%로 고정되어 있었다. 참가자가 일부의 점들만을 추적해 정답을 맞는 것을 방지하기 위해 매 프레임 5%의 점들이 사라지고 다음 프레임에서 그 만큼 재생산 되었다.

점들의 전체 개수는 100개였고, 이 중 일부는 일정한 방향(왼쪽 또는 오른쪽)으로 움직이는 신호 자극(Figure 4에서 검은색 화살표)이었고, 나머지는 무작위한 방향으로 움직이는 잡음 자극(Figure 4에서 회색 화살표)이었다. 참가자는 1초 동안 제시되는 점들의 응집 운동 방향을 지각한 이후 제시된 반응 화면에서 키보드의 방향키(왼쪽 또는 오른쪽)를 이용해 반응하였다.

두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 측정된 양안 응집 운동 역치를 활용하였다. 한 쪽 눈에는 측정된 양안 응집 운동 역치만큼의 신호 자극(일정한 방향으로 움직이는 점)이 제시되었고, 다른 쪽 눈에는 잡음 자극(무작위한 방향으로

움직이는 점)이 제시되었다(Figure 5). 신호 자극이 제시되는 눈은 매 시행 무작위로 선정되었다. 점들의 크기, 움직임 속도는 첫 번째 단계와 동일하였지만 자극의 대비는 다르게 제시되었다. 신호 자극의 대비는 100%로 고정되어 첫 번째 단계와 동일하였지만, 잡음 자극의 대비는 0%부터 참가자의 반응에 따라 조절되었다(Figure 5에서 왼쪽 사각형 영역). 참가자들의 과제는 첫 번째 단계와 동일하게 1초 동안 제시되는 점들의 움직임을 지각한 이후 제시되는 반응 화면에서 키보드의 방향키를 이용해 제시된 점들의 평균 움직임 방향을 보고하는 것이었다.

bCFS 과제(Yang et al. 2010). Figure 6에 절차가 나타나 있다. 먼저 흰 색과 검은 색 동그라미(직경: 0.3°)로 이루어진 사각형 틀($4.57^{\circ} \times 4.57^{\circ}$)이 두 개의 모니터 화면 중앙에 제시되었다. 사각형 틀 중앙에 흰 색과 검은 색 동그라미로 이루어진 동그라미 응시점(흰 원- 직경: 0.17° , 검은 원- 직경: 0.44°)이 제시되었다. 참가자들은 가운데 동그라미 응시점이 하나로 잘 지각되는지 확인하였고, 그 후 스페이스 바를 눌러 시행을 시작하였다. 시행이 시작되면 한 쪽 눈에는 오른쪽 또는 왼쪽 방향의 화살표 자극($0.63^{\circ} \times 1.24^{\circ}$)이 제시되었고 다른 쪽 눈에는 몬드리안 패턴으로 이루어진 CFS 자극($4^{\circ} \times 4^{\circ}$)이 제시되었다. CFS 자극은 1초에 10번 변화하였으며(10Hz), 평균 대비는 100%로 시작해서 100ms마다 1%씩 감소하였다. 반면 표적 자극인 화살표 자극의 대비는 0%

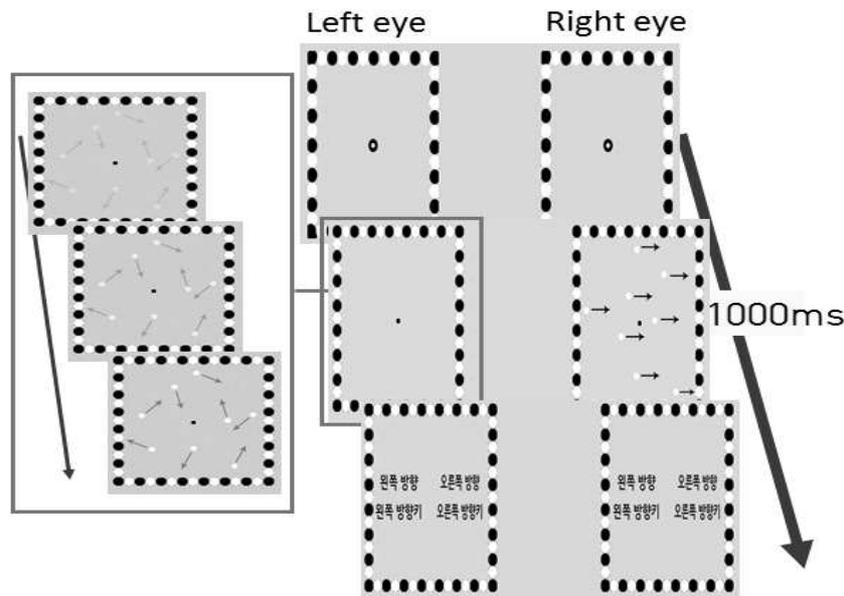


Figure 5. Measurements of dichoptic contrast threshold. A trial began with central bull's eye fixations and fusion frames. After binocular alignments, signal dots with 100% contrast and noise dots with 0% contrast were presented to each eye for 1000ms. Participants' task was the same as in the first stage. If participants reported correctly, then the contrast of noise dots was increased (the left side of Figure 5).

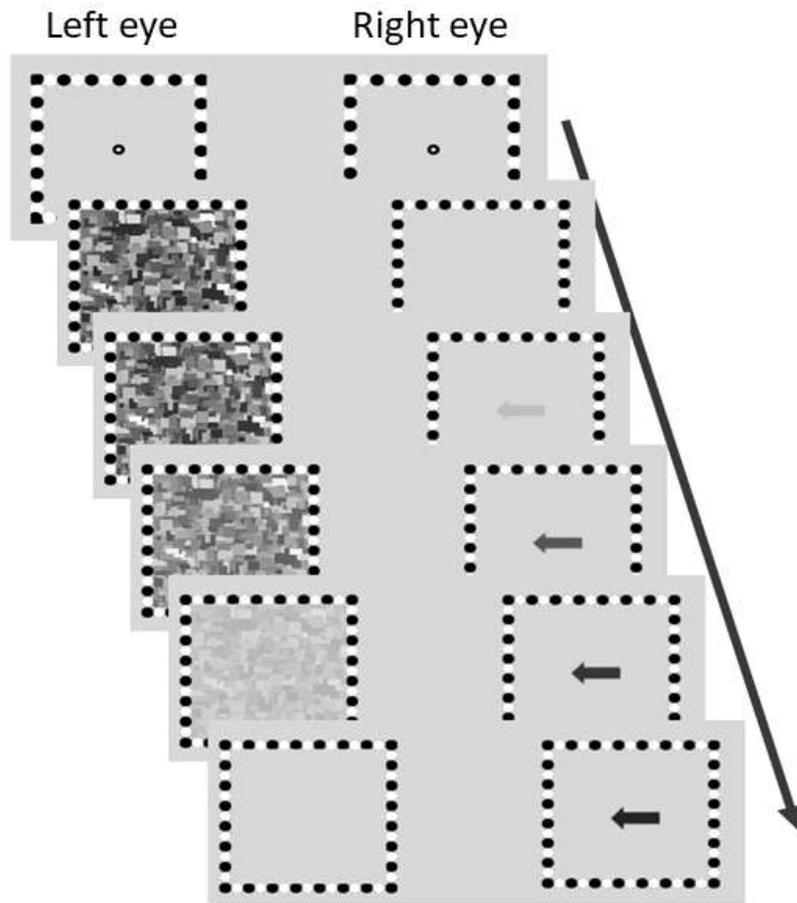


Figure 6. SED measurement by Yang et al. (2010). A trial began with central bull's eye fixations and fusion frames. After binocular alignments, CFS stimulus with 100% contrast and the target stimulus (arrow) with 0% contrast were presented to each eye. At every 100ms the contrast of CFS stimulus was decreased by 1% and the contrast of the target was increased by 1%. Participants were asked to report the orientation of the target arrow as soon as they perceived. The CFS presented eye was randomly chosen.

로 시작해서 100ms마다 1%씩 증가하였다. 참가자의 과제는 표적 자극이 지각되는 순간 그 자극의 방향(오른쪽 혹은 왼쪽)을 각 키보드의 방향키를 이용해 반응하는 것이었다.

설계

입체시 측정. 참가자 내 설계였으며, 유일한 독립 변인은 정답이 되는 비교 가보 자극의 위치(4개)였다. 다른 가보 자극에 비해 큰 양안 시차를 가지는 한 개의 가보 자극의 위치는 매 시행 무선적으로 선정되었다. 다음 자극을 예측하는 것을 방지하고자 두 개의 계단법이 사용되었고, 매 시행 번갈아 제시되었다. 기준이 되는 세 개의 표준 가보 자극의 양안 시차는 80초로 고정되어 있었다. 찾아야 하는 비교 가보 자극의 양안 시차는 참가자의 이전 시행 반응에 따라 조절되는 계단법을 사용해 정해졌다. 각 계단법의 시작점은 40초를 단계로 40, 80, 120초 중에 하나 혹은 160, 200, 240초 중에 하나가 무선적으로 선택되어 제시되었다.

참가자의 과제는 표준 가보 자극과 다른 양안 시차를 가

지는 비교 가보 자극을 찾는 것이었다. 만일 참가자가 정답을 맞혔으면 다음 시행에서는 비교 자극의 양안 시차가 40초 감소되었으며, 틀렸을 경우 40초 증가하였다. 참가자의 반응이 정답에서 오답 혹은 그 반대로 변화할 때를 전환점(reversal point)이라고 정의하였고, 이 전환점이 8개가 생기는 지점에서 그 계단법은 종료되었다.

SED 측정

양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010). 참가자 내 설계였으며, 2개의 독립 변인으로 구성되었다. 첫 번째는 측정되는 눈(왼쪽, 오른쪽)이었으며, 두 번째는 측정되는 8개의 위치(0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 그리고 315°)였다. 이렇게 설계된 총 16개의 조건이 구획으로 나뉘어 실시되었으며, 구획의 실행 순서는 참가자 별로 무선적이었다. 각 눈의 지각적 균형점을 구하기 위해 역치가 측정되는 눈에 제시되는 자극의 대비는 참가자의 각 시행 응답에 따라 조절되는 계단법을 사용하였으며, 측정하지 않은 반대편 눈에 제시되

는 자극의 대비는 1.5로그(31.62%)로 고정되었다. 참가자가 다음 시행에 제시되는 자극의 대비를 예측하는 것을 방지하고자 낮은 수준에서 시작하는 계단법과, 높은 수준에서 시작하는 계단법을 구획 내에서 번갈아 사용하였다. 높은 수준 시작 계단법의 시작점은 1.52로그(33.11%)에서 0.02로그(1.05%)씩 1.66로그(45.71%)까지 8단계 중에서, 낮은 수준 시작 계단법의 시작점은 1.34로그(21.88%)에서 0.02로그(1.05%)씩 1.48로그(30.2%)까지 8단계 중에서 무선적으로 선택하였다. 참가자가 측정되는 눈에 제시되는 자극(대비가 조절되는 자극)이 보인다고 응답한 경우, 다음 시행에서 그 자극의 대비는 0.05로그(1.12%)만큼 감소하였다. 반대로 다른 쪽 눈에 제시되는 자극(대비가 고정되어 있는 자극)이 보인다고 응답할 경우 측정되는 눈에 제시되는 자극의 대비는 0.05로그(1.12%)만큼 증가하였다. 전환점은 참가자의 반응이 측정하는 눈에 제시되는 자극(예, 수직 방위)이 보인다고 응답하는 것에서 다른 쪽 눈에 제시되는 자극(예, 수평 방위)이 보인다고 응답하는 경우나, 그 반대의 경우로 정의하였다. 각 계단법은 8번의 전환점이 발생하면 종료되었다. 또한 측정되는 눈에 제시되는 자극의 대비가 최댓값인 2로그(100%)에 도달하였는데도 참가자가 그 자극을 우세하게 지각하지 못하는 시행이 6번 연속해서 발생하면, 참가자는 그 자극을 우세하게 지각할 수 없는 것으로 간주하여 그 계단법은 종료되었다. 이런 방식으로 한 구획에 포함된 두 개의 계단법이 모두 종료되면, 대비 탐지 역치를 계산할 수 있는 하나의 구획이 완료되었다. 이후 나머지 15구획을 정해진 무선 순서에 따라 동일한 방법으로 실시하였다.

응집 운동 방향 변별 과제(Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008). 측정법 내 두 단계 모두 참가자 내 설계로, 신호 자극이 제시되는 눈(왼쪽, 오른쪽)이 독립 변인이었다. 첫 번째 단계의 두 계단법을 통해 신호 자극의 개수를 조절했다. 두 개의 계단법은 번갈아가며 사용되었다. 각 계단법의 시작점은 10에서 20까지의 범위 중 무선적으로 선정된 값이었다. 만일 참가자의 반응이 정답일 경우 신호 자극의 개수는 줄어들었고, 줄어든 만큼 잡음 자극의 개수는 증가하여 제시되는 점들의 총 개수는 100개로 유지되었다. 참가자의 반응이 정답에서 오답 혹은 그 반대로 전환되는 시점을 전환점이라고 정의하였다. 만일 참가자가 첫 번째 전환점이 발생하기 이전 정답을 맞힌 경우 다음 시행에서 제시되는 신호 자극의 개수는 이전 시행보다 50% 감소하였고, 오답인 경우 50% 증가하였다. 그러나 첫 번째 전환점이 발생한 이후, 다음 시행에서 제시되는 신호 자극의 개수는 이번 시행이 정답

인 경우 25% 감소, 오답인 경우 25% 증가하였다. 각 계단법에서 8번의 전환점이 발생하면 그 계단법은 종료되었다. 각 계단법의 양안 응집 운동 역치는 8개 전환점 중 마지막 4개의 전환점에서 신호 자극 개수의 평균으로 계산되었다. 한 참가자의 양안 응집 운동 역치는 두 계단법에서 측정된 역치들의 평균으로 계산되었다. 두 번째 단계의 두 계단법을 통해서는 잡음 자극의 대비값을 조절했다. 모든 계단법의 시작점은 0%로 고정되어 있었다. 만일 첫 번째 전환점이 발생하기 이전 참가자의 반응이 정답인 경우 다음 시행에 제시되는 잡음 자극의 대비는 현재 시행보다 10% 증가하였다. 그러나 첫 번째 전환점이 발생한 이후의 정답에 대해서는 5%씩 증가하였다. 참가자의 반응이 오답인 경우에는 항상 10%씩 다음 시행에서 잡음 자극의 대비가 감소되었다. 첫 번째 단계와 마찬가지로 8개의 전환점이 발생하는 시점에서 각 계단법이 종료되었으며, 각 계단법의 마지막 4개의 전환점이 발생한 시점에서 잡음 자극의 대비 값들의 평균으로 각 계단법의 양안 대비 역치가 계산되었다. 참가자의 한 쪽 눈에서의 양안 대비 역치는 그 눈에 100% 대비의 신호 자극이 제시되었던 두 계단법에서 구해진 값들의 전체 평균값으로 계산되었다. 양안 대비 역치는 다른 쪽 눈에 어느 정도 높은 대비의 잡음 자극이 제시되었을 때 일정 수준(75%)으로 정답을 맞힐 수 있는지를 의미한다. 따라서 한 쪽 눈의 양안 대비 역치가 다른 쪽 눈의 양안 대비 역치에 비해 크다는 것은, 그 눈이 다른 쪽 눈에 더 높은 대비의 잡음 자극이 제시되어도 75% 수준으로 정답을 맞힐 수 있음을 의미한다.

bCFS 과제(Yang et al., 2010). 참가자 내 설계로 독립변인은 2개였다. 하나는 표적 자극이 제시되는 눈(왼쪽, 오른쪽), 다른 하나는 제시되는 표적 자극의 방향(왼쪽, 오른쪽)이었다. 측정은 25번의 반복으로 구성되어 총 100시행이었다. 이 방법을 통해 각 눈에 표적 자극이 제시되었을 때 그 자극이 지각되기까지 걸리는 시간을 측정할 수 있었다. 한 쪽 눈에 표적 자극이 제시되었을 때 그 자극을 지각하기까지 걸린 시간이 다른 쪽 눈에 비해 길다면, 그 눈은 CFS 자극이 제시되고 있는 다른 쪽 눈에 더욱 많이 억제를 당하고 있는 것이라고 해석할 수 있다.

분석 방법

입체시 측정. 각 계단법의 8개 전환점 중 마지막 4개 전환점이 발생한 시점에서의 양안 시차 값들의 평균을 구하고, 그 값을 두 계단법 측정치 간 평균하였다. 최종 평균한 값을 양안 시차 변별 역치로 정의하였다. 계산된 역치 값이 클수

록 표준 자극과 비교해 비교 자극의 양안 시차를 변별하는데 어려움을 겪었다는 의미로, 입체시 능력이 낮음을 의미한다.

SED 측정.

양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010): 측정된 두 눈의 지각적 균형점의 차이로 정의되었다. 지각적 균형점이란 두 눈의 자극이 동등한 비율로 지각되기 위해 필요한 자극의 대비 수준을 의미한다. 각 눈의 지각적 균형점은 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 각 계단법의 8개의 전환점 중 마지막 4개의 전환점이 발생했을 당시 제시되었던 자극의 대비값들의 평균값을 구하였다. 이후 측정한 눈을 기준으로 같은 눈의 계단법들의 값끼리 다시 한 번 평균값을 계산하였다. 이때 구해진 각 눈의 최종 평균값을 각 눈의 지각적 균형점으로 정의하였다. SED는 이렇게 구해진 두 눈의 지각적 균형점들의 차이로 계산하였다.

응집 운동 방향 변별 과제(Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008): 각각 계산된 참가자의 오른쪽 눈의 양안 대비 역치, 왼쪽 눈의 양안 대비 역치의 비율([왼쪽 눈의 양안 대비 역치]/[오른쪽 눈의 양안 대비 역치])로 정의되었다. 이 비율이 1에 가까울수록 두 눈의 양안 대비 역치 차이가 작음을 의미하며 이는 곧 SED가 작은 것을 의미한다. 비율이 1보다 크다는 것은 왼쪽 눈의 양안 대비 역치가 오른쪽 눈의 양안 대비 역치에 비해 크다는 것으로 왼쪽 눈이 우세안임을 의미한다.

bCFS 과제(Yang et al., 2010): 각 눈에서의 반응 시간의 비율([왼쪽 눈에 표적 자극이 제시될 때, 표적 자극을 지각하기 까지 걸린 시간]/[오른쪽 눈에 표적 자극이 제시될 때, 표적 자극을 지각하기 까지 걸린 시간])로 정의되었다. 이 비율이 1에 가까울수록 양안의 반응 시간 차이가 작다는 것을 의미하며, 이는 곧 SED가 작음을 나타낸다. 비율이 1

보다 크다는 것은 왼쪽 눈에 표적 자극이 제시될 때, 이를 지각하기 까지 걸린 시간이 긴 것을 의미하므로 왼쪽 눈이 비우세안임을 나타낸다.

구해진 측정법 내의 반복 측정 신뢰도와, 각 측정치에서 구해진 SED가 클수록 입체시 능력이 낮은지를 알아보기 위하여 상관 분석을 실시하였다. 또한, 각 측정법에서 구해진 우세안이 하나의 측정법 내에서 일치하는지, HIC 검사를 통해 측정된 시야 우세안과 일치하는지를 알아보고자 카파 계수(Cohen's Kappa coefficient) 분석을 실시하였다.

결과 및 논의

검사-재검사 측정 신뢰도

모든 검사의 반복 측정 신뢰도가 어느 정도 되는지 알아보고자 참가자들은 일주일에서 이주일 이내에 동일한 실험에 두 번 참여하였다. 두 번의 참여로 얻어진 측정법들 내의 반복 측정 신뢰도는 상관 분석을 통해 분석하였다. 그 결과는 Table 1에 제시되었다.

Table 1을 보면 응집 운동 방향 변별 과제(Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008)의 첫 번째 단계에서 측정된 양안 응집 운동 역치를 제외하고는 모두 검사-재검사 측정치 간 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다. 이 중 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)의 상관 계수가 제일 컸으며 그 다음 시력, bCFS 과제(Yang et al., 2010), Black 등(2011)과 Mansouri 등(2008)의 두 번째 단계, 그리고 입체시 검사 순이었다.

검사-재검사 우세안 상관 분석

각 검사를 통해 측정된 우세안이 하나의 측정법 내에서 일치하는지를 알아보기 위해 카파 계수 분석을 실시하였다. 검사 결과는 Table 2와 같다.

Table 2를 보면 우세안은 양안 경합 패러다임(Xu et al.,

Table 1. Test-retest reliability

Visual acuity	Stereo threshold	Binocular Rivalry Paradigm (Xu et al., 2010)	SED		
			Coherence motion discrimination task (Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008)		bCFS task (Yang et al., 2010)
			Binocular motion coherence threshold	Dichoptic contrast threshold	
.616*** (<.001)	.399* (.029)	.790*** (<.001)	.161 (.396)	.516** (.003)	.527** (.003)

Note. Correlation coefficient (*p*-value)

p*<.05, *p*<.01, ****p*<.001

Table 2. Correlation analyses of dominant eye results across two measurements

Visual acuity	SED		
	Binocular Rivalry Paradigm (Xu et al., 2010)	Coherence motion discrimination task (Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008)	bCFS task (Yang et al., 2010)
		Dichoptic contrast threshold	
.207 (.088)	.571*** (.001)	.260 (.153)	.600*** (.001)

Note. Kappa value (*p*-value)

****p*<.001

2010)과 bCFS 과제(Yang et al., 2010)에서 반복 측정 시 통계적으로 유의하게 일치하는 것으로 나타났다. 통계적으로 유의한 결과를 나타내는 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)과 bCFS 과제(Yang et al., 2010)에서의 카파 계수는 적정 수준의 일치성(moderate agreement: .41~.60)을 보였다(Viera & Garrett, 2005).

검사-HIC 우세안

상관 분석. 각 측정법에서 구해진 우세안과 HIC 검사를 통해 측정된 시야 우세안이 일치하는지를 알아보고자 카파 계수 분석을 실시하였다. 검사 결과는 Table 3과 같다.

Table 3을 보면 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)과 bCFS 과제(Yang et al., 2010)만이 각 검사를 통해 측정된 우세안과 HIC 검사를 통해 측정된 시야 우세안이 통계적으로 유의하게 일치한다. 통계적으로 유의한 수준의 결과를 나타내는 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)과 bCFS 과제(Yang et al., 2010)의 카파 계수는 어느 정도 일치하는 수준(fair agreement: .21~.40)에 해당한다(Viera & Garrett, 2005).

SED 검사-입체시 상관 분석

세 가지의 SED 측정법을 통해 구해진 SED가 클수록 입체시 능력이 낮은 지를 알아보기 위하여 3가지의 방법을 통해 구해진 SED 측정치들과 입체시 능력과의 상관 분석을 실시하

였다. 그 결과가 Table 4에 나타나 있다.

본 연구에서 입체시는 표준 자극과 비교 자극의 차이를 구별할 수 있는 정도를 양안 시차의 크기로 측정하였으므로 이 값이 클수록 입체시 능력이 낮음을 의미한다. 따라서 본 연구에서 사용된 검사들에서 양안 간 차이가 클수록 입체시 능력이 낮다면, 측정치와 입체시 능력 간에 통계적으로 유의한 정적 상관관계가 존재할 것이다. 첫 번째 측정된 입체시 능력과 모든 측정치는 통계적으로 유의한 상관을 나타내지 않았다. 그러나 두 번째 측정된 입체시 능력과는 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)에서 통계적으로 유의한 정적 상관이 발견되었다.

따라서 본 실험에서 사용된 입체시 측정법을 통해 구해진 입체시 능력과 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)을 통해 구해진 SED값만이 통계적으로 유의한 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 이런 상관관계는 입체시의 두 번째 측정치에서만 발견되었으므로 좀 더 신뢰할 수 있는 측정치를 얻기 위해서는 입체시의 경우 최소한 두 번의 측정이 필요하다고 판단된다. 이는 Kham(2015)과 다르게 조절법으로 입체시 능력을 측정했기 때문일 수 있다. Kham(2015)의 연구에서는 비교 자극의 양안 시차 수준을 6수준(40, 80, 120, 160, 200, 240초)으로 고정하고, 입체시 능력을 각 수준 당 10번 반복 측정했다. 그러나 본 연구에서는 참가자의 반응에 따라 다음 시행의 양안 시차를 조절해가며 참가자의 역치를 찾고자 이를 조절법으로 바꾸어 진행했다. Kham(2015)의 연

Table 3. Correlation analysis between dominant eye results from each measurement and HIC test results

Visual acuity	SED		
	Binocular Rivalry Paradigm (Xu et al., 2010)	Coherence motion discrimination task (Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008)	bCFS task (Yang et al., 2010)
		Dichoptic contrast threshold	
-.059 (.548)	.315* (.048)	.004 (.981)	.355* (.043)

Note. Kappa value (*p*-value)

**p*<.05

Table 4. Correlation analysis between the SED and stereo test results

Test	SED							
	visual acuity		Binocular Rivalry Paradigm (Xu et al., 2010)		Coherence motion discrimination task (Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008)		bCFS task (Yang et al., 2010)	
	Dichoptic contrast threshold							
Stereo test	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
1 st	-.050 (.794)	.064 (.737)	-.132 (.485)	.114 (.547)	-.097 (.610)	.200 (.290)	.036 (.852)	.017 (.930)
2 nd	-.124 (.514)	-.190 (.315)	.329 (.076)	.477** (.008)	.198 (.293)	.266 (.156)	.131 (.489)	.248 (.186)

Note. Correlation coefficient (*p*-value)

***p*<.01

구에 따르면 각 수준에서의 반복수가 많아질수록 해당 수준에서 얻어진 정답률과 입체시 능력과의 상관성이 높았다. 이와 다르게 본 연구는 조절법으로 시행되어 한 수준에서 많은 반복이 진행되지 않았다. 따라서 두 번째 측정된 입체시에서 좀 더 신뢰할 수 있는 측정치를 얻었을 가능성이 있다. 이를 해결하기 위해서는 입체시 측정 시 함께 진행되는 계단법의 개수를 늘리거나, 계단법이 종료되는 데까지 필요한 전환점의 개수를 늘리는 방법을 고려해 볼 수 있다.

실험 1 결과, 진용한 시력표를 이용한 시력, Kham(2015)의 방법을 활용한 입체시 능력, 3가지의 SED 측정치(양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010), 응집 운동 방향 변별 과제(Black et al., 2011; Mansouri et al., 2008), bCFS 과제(Yang et al., 2010)) 모두 검사-재검사 신뢰도가 높았다. 그 중 가장 검사-재검사 측정 신뢰도가 높은 방법은 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)이었다. 각 검사를 통해 측정된 우세안 결과가 검사-재검사 간 일치하는지 알아본 결과, 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)과 bCFS 과제(Yang et al., 2010)에서만 우세안 결과가 통계적으로 유의하게 일치하는 것을 발견하였다. 또한 각 검사를 통해 측정된 우세안 결과가 HIC 검사를 통해 측정된 시야 우세안과 일치하는지 알아본 결과 역시 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)과 bCFS 과제(Yang et al., 2010)에서만 우세안 결과가 통계적으로 유의하게 일치하는 것을 발견하였다. 마지막으로 각 측정치에서의 양안 간 차이 정도가 입체시 능력과 상관관계가 존재하는지 알아본 결과, 두 번째로 측정된 입체시 능력과 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)을 통해 측정된 SED와 통계적으로 유의한 상관관계가 존재했다. 이는 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)의 SED 측정법이 가장 신뢰할 수 있고,

양안시 능력을 가장 잘 예측하는 방법임을 시사한다.

실험 2. 참가자 선정

실험 2에서는 실험 1을 통해 가장 측정 신뢰도가 높으며, 양안시 기능을 가장 잘 반영한다고 판단된 Xu 등(2010)의 SED 측정법을 통해 지각 학습 훈련 프로그램(실험 3)에 참가할 대상자를 선정하였다. 또한, 실험 2의 결과를 바탕으로 실험 3에서 제시되는 자극의 대비를 정의하였으며, 측정된 SED값은 훈련 효과의 기저선 역할을 하였다. 실험 2를 통해 추후 실험 3에 참여할 대상으로 선정된 참가자들은 지정된 안과에 방문해 나안 시력, 최대 교정 시력, 입체시에 대한 검진을 받았다.

방 법

참가자

실험 2에는 연세대학교 학생 총 57명(여: 31명, 남: 26명)이 참가하였으며, 이들의 평균 나이는 24.1(표준편차: 2.71)세였다. 이 중 짧은 시간 동안 제시되는 실험 자극을 전혀 지각할 수 없다고 보고한 1명은 제외되었다. 이들은 모두 나안 혹은 교정 시력이 0.7 이상이었으며 모두 정상적인 색채시가 가능하였고, 임상적으로 약시에 대한 진단을 받지 않은 정상군에 속했다. 본 실험은 연세대학교 IRB의 승인 하에 이루어졌고, 참가자들은 모두 실험 참가 동의를 작성한 후 실험에 참여하였다.

기구

참가자와 모니터까지의 거리를 제외하고 모든 기구는 실험 1과 동일했다. 참가자와 모니터 사이의 거리는 60cm였으며, 이 거리에서 1 pixel은 약 0.029°이었다.

재료 및 절차

Xu 등(2010)의 방법을 이용한 SED 측정은 양안 융합을 돕기 위해 사용된 틀이 흰 색과 검은 색 원 도넛 모양의 틀(반지름 14°, 두께 6.5°)로 변경된 것과 자극의 크기가 1.25°로 커진 것을 제외하고 실험 1의 방법과 동일했다.

설계

실험 2는 참가자 내 설계로, 실험 1의 Xu 등(2010)의 SED

측정법과 동일했다. 실험 2를 통해 지각 학습 프로그램(실험 3)에 참여 대상으로 선정된 참가자들은 세 개의 집단(통제, 기본 훈련, 주의 훈련)에 무작위로 배정되었다.

분석 방법

실험 1에서 양안 경합 패러다임(Xu et al., 2010)의 분석 방법과 동일했다. 세 집단 간 초기 SED 차이가 존재하는지를 알아보기 위하여 각 집단의 SED값을 대상으로 일원분산분석을 실시하였다. 또한, 선정된 참가자들이 실험 3에 참여하기 이전 방문하여 얻은 사전 안과 검진 결과에 집단 간 통계적으로 유의한 차이가 존재하는지 알아보기 위해 나안시력, 최대교정시력, 입체시 등을 대상으로 일원 분산 분석을 실시하였다.

Table 5. Results of experiment 2

Group	Age	Uncorrected vision				Corrected vision				Stereopsis				SED			
		Right		Left		Right		Left		Fly (O, X)		Animal(0-3)		Circle (0-9)		(log unit)	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Control	25	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.2	O	O	3	3	6	9	0.424	0.257
	24	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	9	0.486	0.200
	27	0.01	0.01	0.05	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	6	8	0.443	0.514
	27	0.05	0.2	0.05	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	6	9	0.238	0.044
	22	0.05	0.01	0.05	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	6	8	0.555	0.391
	26	0.01	0.01	0.01	0.01	1.2	1.0	1.2	1.0	O	O	3	3	4	5	0.059	0.207
	28	0.01	0.01	0.01	0.01	0.8	1.0	0.7	0.8	O	O	3	3	4	5	0.261	0.381
	25	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	7	8	0.329	0.481
	24	0.1	0.1	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	9	0.174	0.026
	24	0.01	0.05	0.01	0.05	1.0	1.0	0.7	0.7	O	O	3	3	8	6	1.013	0.789
Basic training	21	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	6	8	0.479	0.109
	24	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	3	5	0.296	0.151
	25	0.05	0.01	1.0	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	2	2	3	4	0.084	0.023
	24	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	2	8	0.368	0.552
	32	0.6	0.2	0.6	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	4	5	0.477	0.226
	28	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	9	0.305	0.145
	26	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	9	0.514	0.287
	22	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	8	0.244	0.204
	21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.8	1.0	0.8	1.0	O	O	3	3	9	8	0.433	0.205
	28	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	9	0.667	0.638
Attention training	24	0.1	0.01	0.3	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	1	6	5	0.889	0.604
	24	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	8	8	0.598	0.013
	25	0.03	0.01	0.03	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	6	8	0.211	0.088
	25	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	8	9	0.305	0.270
	22	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	5	8	0.787	0.360
	21	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	9	0.334	0.231
	24	0.2	0.2	0.3	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	5	8	0.681	0.734
	25	0.1	0.2	0.01	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	8	8	0.728	0.289
	21	0.05	0.01	0.1	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	9	7	0.477	0.556
	25	0.2	0.4	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	O	O	3	3	4	6	0.721	0.690

결과 및 논의

실험 2는 실험 3의 지각 학습에 참여할 참가자를 선정하기 위하여 실시되었다. 선정 기준은 SED를 측정된 8개의 위치 중 SED가 가장 크게 측정된 두 위치에서의 평균 SED값이 0.4로그 이상인 참가자로 정의되었다. 이 기준은 선행연구인 Xu 등(2010)의 연구에서 훈련을 시작하기 이전 참가자들의 기저선 수준과 동일하였다. 이 기준을 만족하는 참가자는 실험 2에 참여한 57명 중 30명이었다. 이들은 실험 3을 진행하기에 앞서 안과에 방문해 나안시력, 최대교정시력, 입체시 등을 측정하였으며, 검사를 통해 시각 기능에 이상이 없는 정상군임을 다시 한 번 확인하였다. 이들의 검사 결과는 Table 5에 제시되었다.

선정된 30명의 참가자들의 실험 1에서 측정된 8개 위치에서의 전체 평균 SED는 0.4804로그였으며, 표준편차는 0.2065로그였다. 이들은 추후 진행될 실험 2에서 3개의 집단 중 한 곳에 무선적으로 배정되었는데, 집단 간 SED값의 차이와 지각적 균형점의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(SED: $F(2,27)=2.196, p=.131$; 지각적 균형점(우세안): $F(2,27)=2.737, p=.083$; 지각적 균형점(비우세안): $F(2,27)=.167, p=.847$). 또한 나이, 양안의 나안시력, 최대교정시력, 입체시 모두 집단 간 통계적으로 유의한 차이는 존재하지 않았다(나이: $F(2,27)=1.315, p=.285$; 나안시력(우안): $F(2,27)=1.162, p=.328$; 나안시력(좌안): $F(2,27)=2.174, p=.133$; 최대교정시력(우안): $F(2,27)=.310, p=.736$; 최대교정시력(좌안): $F(2,27)=.450, p=.642$; 입체시(파리): $F(2,27)=1, p=.381$; 입체시(동물): $F(2,27)=1, p=.381$; 입체시(원): $F(2,27)=.122, p=.886$). 그러므로 훈련 전 참가자들의 시각적 능력은 집단 간 유사하였다.

실험 3. 지각 학습법 비교

실험 3에서는 지각 학습을 통해 SED가 감소하는지를 검증하였다. 또한 양안 간 불균형적인 억제 정도를 감소시키는데 Xu 등(2010)이 제안한 푸시폴 지각 학습법의 양안 역동 재형성 과정과 Hess 등(2010)의 지각 학습법에서의 양안 통합 과정 중 어느 과정이 더 효과적인지를 비교해 보고자 했다. 이에 실험 2에서 선정된 30명의 참가자들은 지각 학습에 참여하지 않는 통제 집단, Mansouri 등(2008)의 평균 방위 변별 과제만을 사용한 기본 훈련 집단(양안 통합 지각 학습), 그리고 양안 우열 관계 재형성 과정을 추가한 주의 훈련 집단(양안 통합 지각 학습 + 푸시폴 지각 학습)에 각각 10명

씩 무선적으로 배정되었다. 두 훈련 집단 간의 차이는 학습 과정 중 자극이 제시되기 이전에 주어지는 주의 단서의 여부이다. 기본 훈련 집단의 경우 주의 단서 없이 학습이 진행되었고, 주의 훈련 집단의 경우 주의 단서가 제시되었다. 모든 회기가 끝난 이후 약 7개월에서 1년 후의 시간이 지난 후에도 훈련 효과가 지속되는지 알아보기 위해 연락이 가능했던 참가자 12명을 대상으로 SED를 재측정하였다.

방법

참가자

실험 2에서 SED값이 0.4로그 이상인 참가자 30명이 선정되어 실험 3에 참가하였다. 선정 기준은 선행연구인 Xu 등(2010)의 연구에서 참가자들의 훈련 이전 기저선 상태의 평균 SED값을 바탕으로 결정되었다. 이들은 통제 집단(control group), 기본 훈련 집단(basic training group), 그리고 주의 훈련 집단(attention training group)에 각각 10명씩 무선적으로 배정되었다. 실험 3의 지각 학습이 완료된 이후 약 7개월에서 1년이 흐른 뒤 실시된 추적 검사에는 통제 집단 2명, 기본 훈련 집단 6명, 주의 훈련 집단 4명의 참가자가 참여하였다.

기구

실험 2와 동일한 기구를 이용해 실험이 진행되었다.

재료 및 절차

실험 2와 마찬가지로 양안 통합을 돕기 위해 검은색과 흰색 줄무늬 패턴의 도넛모양 틀이 제시되었고, 틀 안의 영역에 자극이 제시되었다. 영역의 지름은 6°이었다. 실험 자극으로는 가보 자극이 사용되었으며, 가보 자극의 공간주파수는 0.52 cpd, 크기는 2°였다. 각 눈에는 방위 정보를 가진 8개의 가보 자극들이 제시되어 참가자는 총 16개의 가보 자극을 지각하였으며, 각 눈에 제시되는 가보들의 위치는 서로 겹치지 않았다(Figure 7A). 한 쪽 눈에는 과제를 하는데 있어 필요한 정보를 가진 자극들(신호 화면)이 제시되었고, 다른 쪽 눈에는 과제를 하는데 있어 방해가 되는 정보를 가진 자극들(잡음 화면)이 제시되었다. 자극의 대비는 실험 2에서 측정된 참가자별 각 눈의 지각적 균형점으로 제시되었다. 주의 훈련 집단의 경우, 상대적으로 약한 눈인 비우세안에 자극을 제시하기 전 도넛모양 틀이 7.5°회전했다 다시 제자리로 돌아옴으로써(왕복 15°) 비우세안에 주의를 유도하였다. 이를 통해 양안 경합 상황에서 비우세안이 지각적 우위

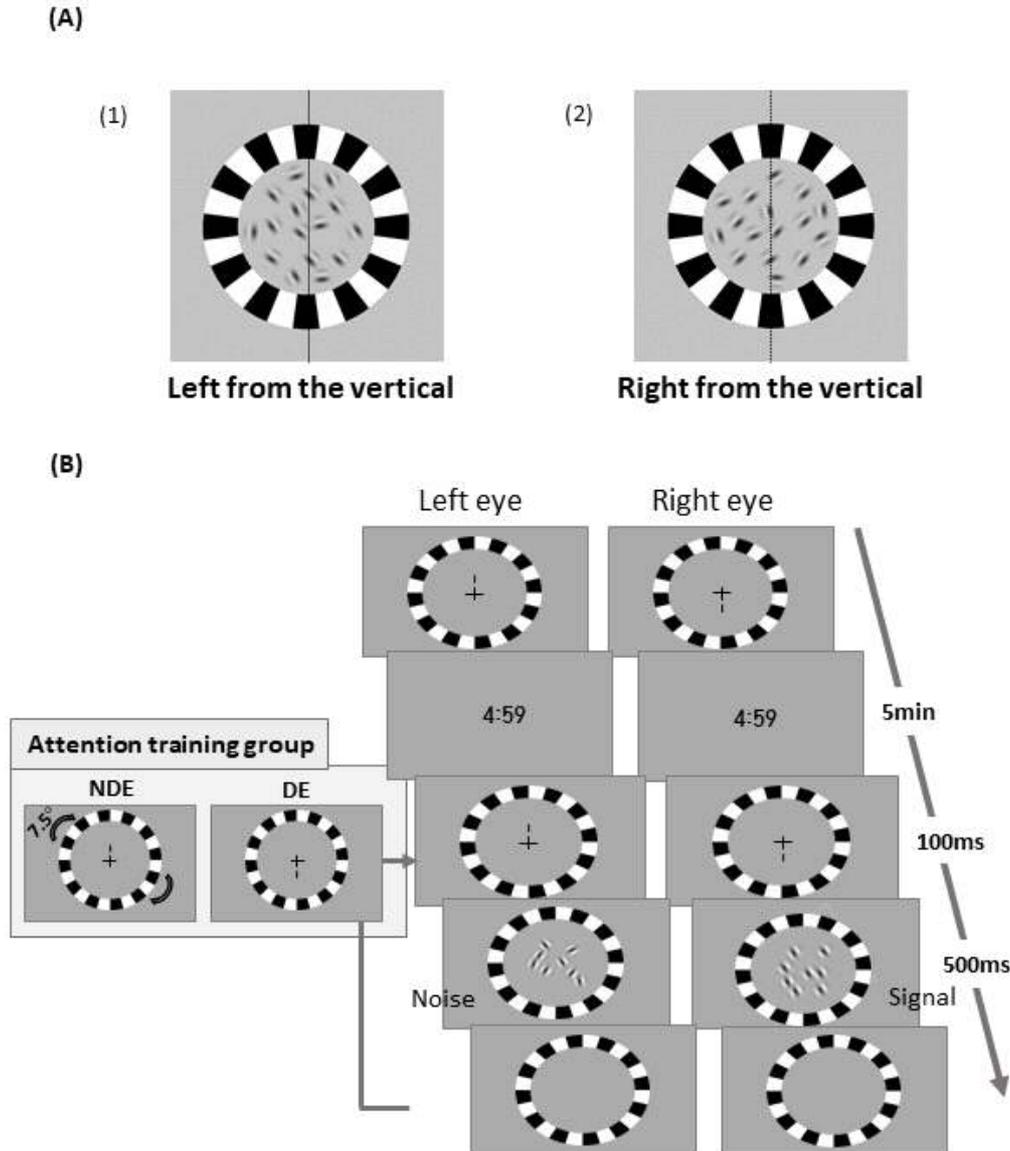


Figure 7. (A) Stimuli of Experiment 3. (1) An example stimuli with mean orientation towards left from the vertical (2) An example stimuli with mean orientation towards right from the vertical. (B) Procedure of Experiment 3. The central fixation crosses with nonius lines were presented to both eyes at the beginning of each trial. When participants perceived that the vertical lines were aligned, they pressed the space bar. The dark exposure period was followed for 5 minutes, followed by the fixation displays. In the case of the attention training group, during this time a fusion frame presented to a non dominant eye was shifted 7.5° to the clockwise direction and came back to the original position in 100ms. After then, two stimulus displays were presented to each eye during 500ms. One is noise display consisted of Gabors with random orientation and the other one is signal display consisted of Gabors with coherent orientation. Participants were asked to report the mean orientation of presented Gabors by using arrow keys on the keyboard.

를 가질 가능성이 높도록 조작하였다.

초기 자극 제시

범위 선정. 본 실험을 시작하기에 앞서 개인별로 평균 방위 변별 과제의 난이도를 조절하여 개인의 수준에 맞는 평균 방위 제시 범위를 설정하였다. 참가자의 과제는 제시되는 가보 자극들의 전체적인 평균 방위가 수직선을 기준으로 왼쪽 혹은 오른쪽 중 어느 방향으로 기울어져 있는지를 맞추는 것이

었다. 가장 큰 단계인 15° 에서부터 시작해 40시행을 기준으로 참가자가 90% 이상의 정확도를 보일 경우 1.5° 가 줄어든 다음 단계로 넘어갔다. 참가자의 정확도가 90%에 못 미칠 때 이 과정은 끝이 났고, 그때의 단계가 실험 3의 본 실험에서 제시되는 자극의 평균 범위 최대 단계가 되었다. 본 실험에서 제시될 자극들의 평균 방위 범위는 이때 측정된 최대 단계로부터 1.5° 까지 등간격의 7단계로 구성되었다. 예를 들어, 참가자가 15° 에서 90% 이상의 정확도를 보이면

1.5° 가 줄어든 13.5° 에서 과제를 다시 한 번 진행하였다. 이 단계에서 90% 이하의 정확도를 나타냈다면, 참가자의 최대 단계는 13.5° 가 되었다. 이 경우 13.5° 부터 1.5° 까지 등간격의 7단계(1.5°, 3.5°, 5.5°, 7.5°, 9.5°, 11.5°, 13.5°)로 초기 자극 제시 범위를 설정하였다.

지각학습. Figure 7B에 실험 3의 지각 학습 절차가 제시되었다. 참가자는 먼저 반사식 입체경을 조절해 화면에 제시되는 십자 응시점 위와 아래에 제시된 세로 선분을 일직선으로 맞추었다. 참가자는 선분 정렬 후, 스페이스바를 눌러서 시행을 시작하였다. 실험을 시작하기에 앞서 훈련 효과를 향상시키기 위해 5분간의 암순응이 실시되었다(Eaton, Sheehan, & Quinlan, 2016). 참가자는 그 동안 가만히 앉아 화면을 응시하도록 지시 받았으며, 5분이 지난 후 다음 화면으로 자동 전환되었다. 주의 훈련 집단의 경우 자극이 제시되기 이전 100ms동안 비우세안의 도넛모양 틀이 시계방향으로 7.5° 회전하였다 다시 제자리로 돌아오는 주의 단서가 제시되었다. 그 후 500ms동안 각 눈에 8개씩, 총 16개의 가보 자극들이 제시되었다. 참가자들의 과제는 자극 화면이 사라진 뒤, 나타났던 가보 자극들의 평균 방위가 수직선을 기준으로 왼쪽으로 기울어졌는지, 오른쪽으로 기울어졌는지를 응답하는 것이었다. 참가자들은 가보 자극들의 평균 방위가 왼쪽으로 기울어졌을 때에는 키보드의 왼쪽 화살표, 오른쪽으로 기울어 졌을 때에는 오른쪽 화살표로 응답하였다. 오답일 경우 참가자의 반응이 끝난 직후 오디오 피드백이 주어졌다.

설계

실험 3은 참가자 간 설계였으며, 5개의 독립 변인이 사용되었다. 참가자 간 변인은 집단의 종류로 통제 집단, 기본 훈련 집단, 그리고 주의 훈련 집단이 있었다. 통제 집단은 실험 기간 동안 어떠한 지각 학습도 실시하지 않는 집단으로, 최소 일주일을 기준으로 일정 기간이 지난 후, SED만 재측정하였다. 기본 훈련 집단은 Mansouri 등(2008)의 평균 방위 변별 과제를 사용하여 훈련하였다. 주의 훈련 집단은 기본 훈련 집단과 동일한 과제로 지각 학습을 진행하지만, 비우세안에 자극 제시 이전 주의가 유도되었다. 두 훈련 집단은 모두 12회기의 지각 학습을 진행하였으며, 4번째 학습 회기가 끝날 때마다 SED를 재측정하였다.

나머지 4개의 변인은 훈련 집단의 참가자 내 변인으로, 신호 자극이 제시되는 눈과 신호 자극의 표준편차, 신호 자극의 평균 방위 방향, 평균 방위 단계가 있었다. 신호 자극은 우세안과 비우세안 중 한 곳에 제시되었으며, 제시되는 신호

자극은 표준편차가 6°인 정규분포에서 생성되었을 경우와 12°인 정규분포에서 생성되었을 경우로 나뉘었다. 정규 분포의 표준편차 조건은 선행 연구인 Mansouri 등(2008)의 양안 제시 조건에서의 결과를 바탕으로 시행된 예비 실험에 의해 결정되었다. 신호 자극의 표준편차가 크면 평균 방위를 계산하기 더 어려우므로 수행의 정확도는 표준편차가 12°인 조건에서 6°인 조건보다 낮을 것으로 예측했다. 또한 평균 방위가 수직선을 기준으로 왼쪽, 오른쪽으로 기울어진 2가지 조건이 존재했고, 이들의 범위는 등간격의 7단계로 구성되었다. 특정 표준 편차 조건에서 평균 방위 단계가 높다는 것은 수직선인 90°와의 차이가 커진다는 것을 의미한다. 따라서 평균 방위 단계가 높은 조건에서는 낮은 조건에 비해 기준이 되는 수직선과의 변별이 쉬워지므로 평균 방위 단계가 높아질수록 수행 정확도가 높아질 것이라고 예측하였다. 한 구획의 시행 수는 신호 자극이 제시되는 눈(2) × 신호 자극의 표준편차(2) × 평균 방위(2) × 평균 방위 단계(7)로 구성된 총 56 시행이었으며, 한 회기는 10구획으로 구성되어 총 560회의 시행이 실시되었다. 참가자들은 구획 간에 충분한 휴식을 취할 수 있었다. 참가자들은 하루에 한 회기씩, 총 12번의 회기에 참가하였다.

매 회기의 가장 마지막 평균 방위 단계에서의 정확도가 90% 이상이면, 다음 회기에서는 그 조건에 해당하는 자극들의 평균 방위 범위의 최댓값을 1.5° 줄였다. 예를 들어, 만일 우세안에 표준편차가 6°인 정규분포에서 추출된 신호 자극이 제시되는 조건(6°-우세안)에서만 가장 큰 평균 방위 단계(예: 15°)에서의 수행 정확도가 90% 이상이면, 다음 회기에서 해당 조건의 평균 방위 범위의 최댓값은 1.5°가 줄어든 값(예: 13.5°)을 사용하였다. 평균 방위 범위의 최댓값에서의 수행 정확도가 90%에 미치지 못한 다른 세 개의 조건(6°-비우세안, 12°-비우세안, 12°-우세안)에서의 평균 방위 범위는 다음 회기에 변동 없이 사용되었다.

분석 방법

실험 3의 결과는 학습(learning) 효과와 훈련(training) 효과로 나누어 분석하였다. 학습 효과란 훈련 과정에서 수행이 증가한 정도를 의미하며, 난이도 증가 비율로 정의되었다. 이를 구하기 위해 먼저, 난이도 증가 횟수를 구했다. 난이도 증가 횟수는 총 12 학습 회기 중 각 조건에서 당일 평균 방위 최대 단계(가장 쉬운 단계)에서의 수행 정확도가 90% 이상이어서 다음 회기에 제시되는 평균 방위 범위의 최댓값이 줄어든 횟수를 의미한다. 횟수는 4가지의 조건(6°-비우세안, 6°-우세안, 12°-비우세안, 12°-우세안)별로 계산되었다.

결과 및 논의

총 12회기에서 난이도가 증가할 수 있는 최대 횟수는 11회이며, 난이도 증가 비율은 각 조건별로 증가한 난이도 증가 횟수와 증가 최대 가능 횟수(11회)의 비율로 정의되었다. 난이도 증가 비율의 4가지 조건 간 유의한 상호작용이 있는지 살펴보기 위해 반복측정 분산분석을 실시하였다. 각 조건 내 두 훈련 집단 간 유의한 차이가 있는지를 알아보기 위해 각 조건별로 t 검정을 실시하였다.

훈련 효과는 훈련 회기를 시작하기 이전에 측정한 8개 위치에서의 평균 SED값과 훈련을 모두 마친 후 마지막에 측정한 8개 위치에서의 평균 SED값 간의 차이로 정의되었다. 첫 번째로 측정된 훈련 효과가 유의한지를 알아보기 위해 각 집단의 훈련 효과를 대상으로 0과 일표본 t 검정을 실시하였다. 그 후 집단 간 차이가 유의하게 존재하는지를 알아보고자 일원분산분석을 실시하였다. 또한 유의한 훈련 효과가 발견되기 위해서는 얼마만큼의 지각 학습 훈련이 필요한지를 추정하고자 훈련 단계를 초기(SED1- SED2), 중기(SED1- SED3), 최종 훈련 효과(SED1-SED4)로 세분화하여 각 단계의 효과 크기를 분석하였다. 통제 집단 내 한 참가자의 세 번째 측정된 SED값 데이터는 기술적인 결함으로 인하여 손실되어, 통제 집단의 중기 단계에서의 효과 크기는 이 참가자를 제외한 9명의 데이터만 사용하여 분석하였다. 그 후 선행연구(Hess 등, 2010)에서 밝힌 것과 같이 초기 SED가 큰 사람에게서 더 큰 훈련 효과가 나타나는지를 알아보기 위해 훈련 집단을 대상으로 초기 SED값과 훈련 효과값의 상관 분석을 실시하였다.

두 번째로 훈련 효과가 우세안의 지각적 균형점이 높아짐으로써 발생한 것인지, 비우세안에서의 지각적 균형점이 낮아짐으로써 발생한 것인지, 혹은 그 둘 모두에 의한 결과인지 알아보려고 했다. 이를 위해 각 눈별로 지각적 균형점의 훈련 전, 후의 변화량이 유의한지 알아보기 위해 0과 일표본 t 검정을 실시하였다. 또한 변화량에 집단 간 차이가 존재하는지 알아보려고 일원분산분석을 실시하였다.

세 번째로 훈련 효과와 학습 효과 간의 관계를 살펴보기 위해 난이도 증가 비율과 훈련 효과 간 상관관계 분석을 실시하였다.

마지막으로 참가자들은 실험 2를 진행하기에 앞서 안과에 방문해 측정하였던 나안 시력, 최대 교정 시력, 입체시 등을 실험 2가 종료된 이후 다시 안과에 방문해 재측정 하였다. 사전 사후 검사 간 유의한 차이가 존재하는지, 그 차이가 집단 간 유의하게 다른지를 알아보기 위해 반복측정 분산분석을 실시하였다.

학습 효과

학습 효과 분석 결과 신호 자극이 제시되는 눈의 위치와 훈련 집단 간에는 통계적으로 유의한 상호작용이 존재했다 ($F(1,18)=6.401$, $p=.021$, Figure 8). 구체적으로 기본 훈련 집단은 주의 훈련 집단에 비해 신호 자극이 우세안에 제시되었을 때 더 큰 향상(기본 훈련: 0.149, 주의 훈련: 0.018)을 보인 반면, 주의 훈련 집단은 기본 훈련 집단에 비해 신호 자극이 비우세안에 제시되었을 때 더 큰 난이도 증가 비율(기본 훈련: 0.313, 주의 훈련: 0.432)을 나타냈다. 이는 비우세안에 주어진 주의 단서가 비우세안의 정보 처리를 촉진했기 때문이라고 해석할 수 있다. 신호 자극이 추출된 정규 분포의 표준편차와 훈련 집단 간과 신호 자극이 제시되는 눈의 위치와 신호 자극이 추출된 정규분포의 표준편차 간에도 각각 통계적으로 유의한 상호작용이 발견되었다(표준편차-집단: $F(1,18)=4.457$, $p=.049$; 제시 눈-표준편차: $F(1,18)=7.667$, $p=.013$). 집단과 조건 간의 상호작용에 대해 구체적으로 알아보려고 4개의 조건에 대해 집단 간 t 검정을 실시하였다. 그 결과 12° -비우세안 조건에서는 주의 훈련 집단이 기본 훈련 집단에 비해 난이도 증가 비율이 통계적으로 유의하게 컸다(기본 훈련: 0.225, 주의 훈련: 0.371, $t(18)=-2.160$, $p=.045$, Figure 8). 반면 6° -우세안 조건에서는 기본 훈련 집단이 주의 훈련 집단에 비해 통계적으로 유의하게 큰 난이도 증가 비율을 보였다(기본 훈련: 0.199, 주의 훈련: 0.009, $t(18)=3.298$, $p=.004$, Figure 8). 그러나 그 외 두 조건(6° -비우세안, 12° -우세안)에서는 집단 간 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(6° -비우세안: 기본 훈련: 0.401, 주의 훈련: 0.493, $t(18)=-.830$, $p=.418$; 12° -우세안: 기본 훈련: 0.099, 주의 훈련: 0.027, $t(18)=1.741$, $p=.099$, Figure 8). 즉, 주의 훈련 집단의 비우세안에 제시되는 주의 단서가 실제로 비우세안에 주의를 유도하여 높은 난이도의 신호 자극이 비우세안에 제시될 때의 수행은 향상시키고, 반대로 낮은 난이도의 신호 자극이 우세안에 제시되면 비우세안에 주의를 끌려 수행이 저하된 것이라고 해석할 수 있다. 그러나 삼원 상호작용은 통계적으로 유의하지 않았다 ($F(1,18)=20.753$, $p=.410$).

종합해보면, 신호 자극이 비우세안에 제시되고 난이도가 높은 경우, 주의 훈련 집단은 비우세안에 주어진 주의 단서의 영향으로 기본 훈련 집단에 비해 통계적으로 유의하게 높은 난이도 증가 비율을 나타냈다. 반대로 신호 자극이 우세안에 나타나고 난이도가 낮을 경우, 주의 훈련 집단은 비우

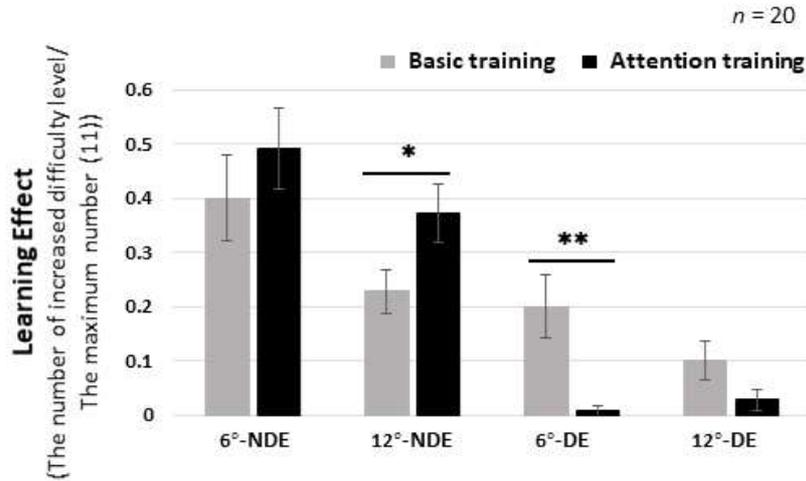


Figure 8. Learning effects depending on presented eyes (NDE: non dominant eye, DE: dominant eye), standard deviations of presented orientations, and the two training groups. An asterisk (*) indicates significant differences at $p < .05$ and two asterisks (**) indicate significant differences at $p < .01$. Error bars indicate the standard error of the mean (SEM).

세안에 제시된 주의 단서의 효과로 오히려 기본 훈련 집단에 비해 난이도 증가 비율이 통계적으로 유의하게 낮은 수준을 보였다. 그러나 이러한 주의 단서 효과는 신호 자극이 비우세안에 제시될 때 난이도가 낮은 경우와 우세안에 제시되며 난이도가 높은 경우에는 발견되지 않았다. 이는 천장 효과와 바닥 효과로 인한 결과일 수 있으며, 학습 과제의 난이도가 적절한 수준일 때 학습이 효과적으로 나타난다는 선행 연구와도 일치하는 결과이다(DeLoss, Watanabe, & Anderson, 2014; Engineer et al., 2012). 난이도가 매우 낮거나, 높은 경우를 제외한 조건에서는 주의 단서에 의해 난이도 증가 비율이 변화하였다. 이는 Zhang 등(2012)의 결과와 일치하는 결과로 주의 훈련 집단의 비우세안에 제시되었던 주의 단서

가 비우세안의 정보 처리만을 촉진하였음을 알 수 있다.

훈련 효과

분석 결과 기본 훈련 집단과 주의 훈련 집단의 훈련 효과 크기는 0과 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Figure 9; 기본 집단: $t(9)=2.328, p=.045$; 주의 집단: $t(9)=2.616, p=.028$). 그러나 통제 집단의 훈련 효과 크기는 0과 통계적으로 유의한 차이가 없었다($t(9)=1.949, p=.083$). 즉, 통제 집단과는 다르게 두 훈련 집단에서는 훈련 이후 측정된 SED 값이 훈련전에 측정된 SED값에 비해 통계적으로 유의하게 감소하였다. 그러나 훈련 효과 크기에서 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($F(2,27)=.625, p=.543$).

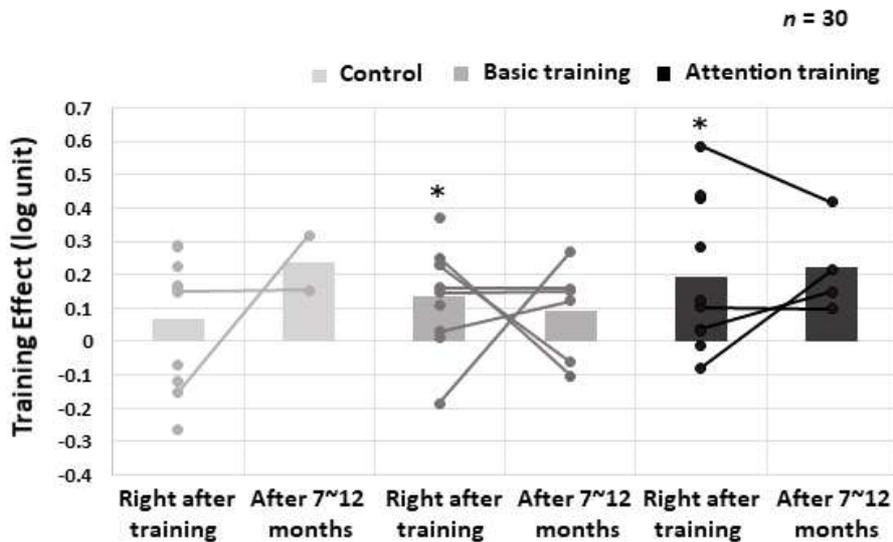


Figure 9. Results of training effects right after training and after 7 to 12 months. A dot on the graph indicates individuals' data and bar indicates the group mean. An asterisk (*) indicates significant differences at $p < .05$.

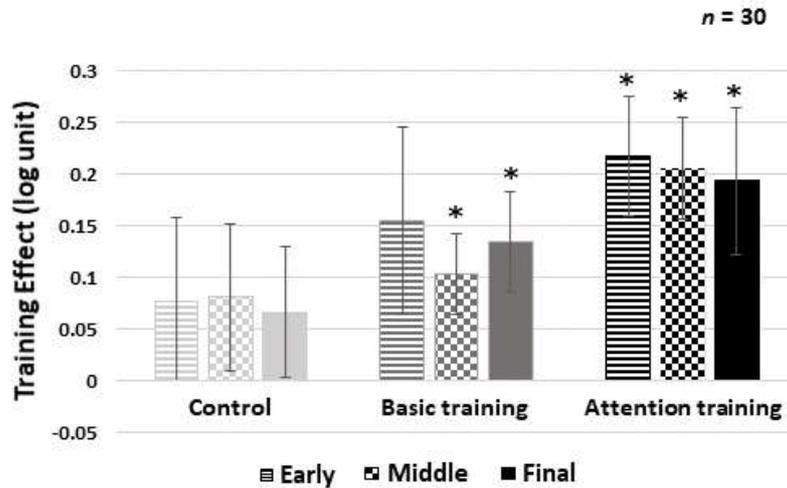


Figure 10. The training effects across time. An asterisk (*) indicates significant differences at $p < .05$. Error bars indicate SEM.

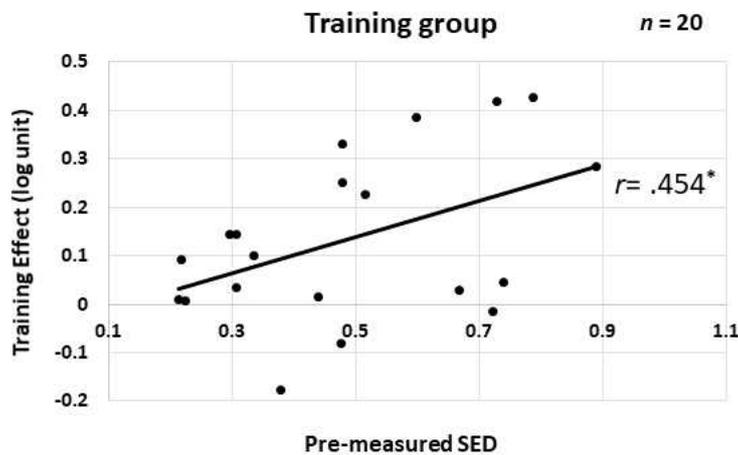


Figure 11. Correlation analysis between the first SED and training effect in the two training groups. X axis indicates pre-measured SEDs in Experiment 2 and Y axis indicates training effects which were calculated by subtracting the last SED from the first SED. A dot indicates individual data and the solid line indicates a regression line. An asterisk (*) indicates significant differences at $p < .05$.

훈련 효과가 나타나는 과정에서의 집단 간 차이를 분석한 결과는 Figure 10에 제시되었다. 단계별 훈련 효과 크기 분석 결과는 최종 훈련 효과 크기 분석 결과와 유사했다 ($F(2,26)=1.409, p=.262$). 또한 두 훈련 집단의 훈련 효과 크기와 사전 SED 측정값 간에 통계적으로 유의한 정적 상관이 발견되었다($r=.454, p=.044$, Figure 11). 이는, 사전에 측정된 SED값이 클수록 추후 훈련 효과도 컸음을 의미한다. 이는 Hess 등(2010)의 선행연구 결과와 일치한다.

두 훈련 집단에서 발견된 통계적으로 유의한 훈련 효과가 어떤 기제를 통해 유발되었는지 알아보기 위해 추가 분석을 실시하였다. 두 훈련 집단에서 발견된 통계적으로 유의한 훈련 효과가 비우세안의 지각적 균형점이 낮아져서인지, 우세안의 지각적 균형점이 높아져서인지 혹은 둘 다 작용했는지를 알아보기 위해 훈련 효과를 비우세안과 우세안으로 구분

하여 분석하였다. 그 결과가 Figure 12에 제시되었다.

Figure 12에서 점선으로 표시된 수평 선분은 측정되는 눈이 아닌 다른 눈에 제시되었던 자극의 고정된 대비값(1.5로그)을 나타낸다. 지각적 균형점이란 다른 눈에 1.5로그 대비의 자극이 제시되었을 때, 두 눈의 자극이 동등한 수준으로 지각되는 대비값이다. 예를 들어 Figure 12A를 보면 모든 집단은 우세안에 1.5로그 대비의 자극이 제시되었을 때, 비우세안에는 그보다 높은 대비의 자극이 제시되어야 두 눈의 자극이 지각적으로 동등하다고 보고했음을 알 수 있다.

모든 집단의 사전 및 사후에 측정된 비우세안의 지각적 균형점의 변화량을 분석한 결과, 두 훈련 집단에서 모두 통계적으로 유의하게 비우세안의 지각적 균형점이 낮아졌음을 발견하였다(Figure 12A, 기본 훈련: $t(9)=2.993, p=.017$; 주의 훈련: $t(9)=2.365, p=.042$). 통계 집단에서는 사전, 사후

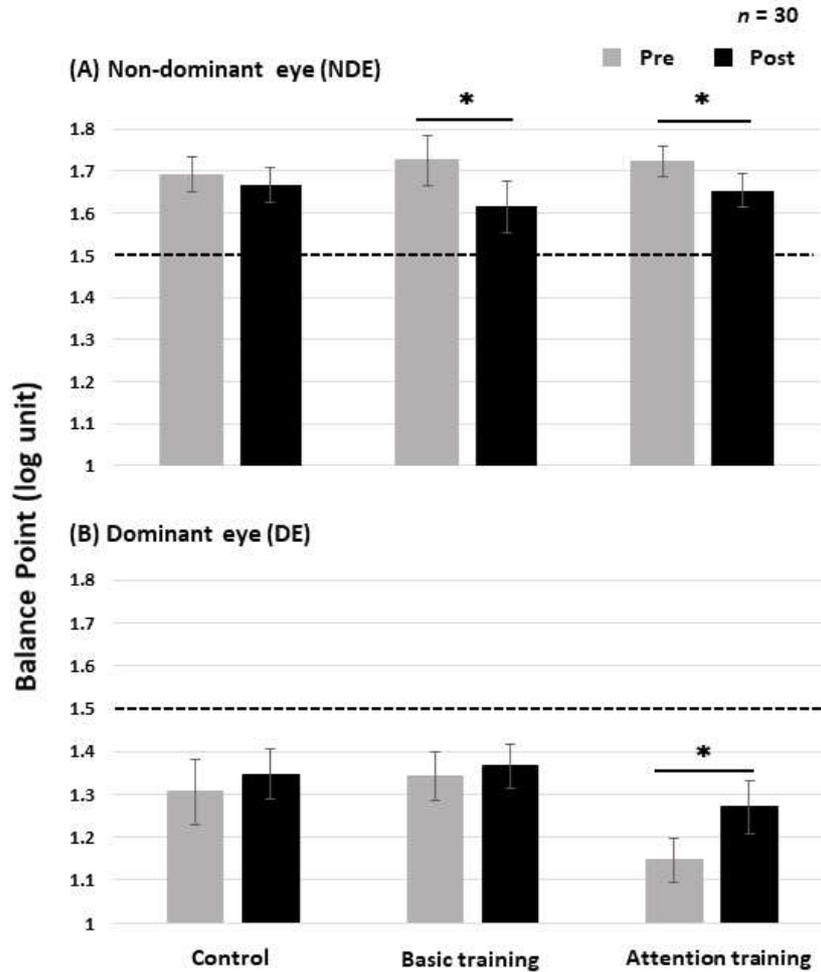


Figure 12. Results of balance contrast. (A) Balance contrast of a non-dominant eye among three groups. (B) Balance contrast of a dominant eye among three groups. The dashed line indicates that the fixed contrast of stimulus presented to the other eye. An asterisk (*) indicates significant differences at $p < .05$. Error bars indicate SEM.

측정된 비우세안의 지각적 균형점에서 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다(Figure 12A, $t(9)=.702$, $p=.501$). 우세안 지각적 균형점의 변화에 대한 분석의 경우 통제 집단과 기본 훈련 집단에서는 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다(Figure 12B, 통제: $t(9)=-1.011$, $p=.338$; 기본 훈련: $t(9)=-1.172$, $p=.271$). 그러나 주의 훈련 집단에서는 사전 우세안의 지각적 균형점에 비해 사후 측정된 우세안의 지각적 균형점이 통계적으로 유의하게 높아졌다(Figure 12B, $t(9)=-2.630$, $p=.027$).

그러므로 두 훈련 집단 간 통계적으로 유의한 훈련 효과 크기 차이는 존재하지 않았으나, 훈련 효과를 유발하는 과정에서는 각기 다른 기제가 관여한 것이다. 구체적으로 기본 훈련 집단의 경우 비우세안의 지각적 균형점을 낮추는 방식, 다시 말해 비우세안의 능력을 향상시키는 방식으로 훈련 효과가 발생했다. 반면, 주의 훈련 집단의 경우 비우세안의 지각적 균형점을 낮추고 동시에 우세안의 지각적 균형점을 높

이는 방식, 즉 비우세안의 기능을 증진시키면서 우세안의 기능을 억제하는 방식으로 훈련 효과가 유도되었음을 시사한다.

학습 효과와 훈련 효과 간 상관관계

지각 학습에서 높은 학습 효과를 보인 참가자에게서 높은 훈련 효과가 관찰되는지 알아보기 위해 두 변인 간 상관관계 분석을 실시하였다. 분석 결과 두 변인 간 통계적으로 유의한 상관관계는 발견되지 않았다(6° -비우세안: $r=-.087$, $p=.714$; 12° -비우세안: $r=.158$, $p=.505$; 6° -우세안: $r=-.084$, $p=.725$; 12° -우세안: $r=-.151$, $p=.526$). 이러한 결과는 지각 학습의 특성인 낮은 학습 효과 전이 현상에 의한 것일 수 있다(Mastropasqua et al., 2015; Strong & Alvarez, 2017). 본 연구의 학습 효과는 방위 정보를 가지고 있는 여러 가보 자극들의 평균 방위를 변별하는 과제인 양안 통합 지각 학습의 수행 정도로 정의되었다. 그러나 훈련 효과는 양안 경험 패러다임 상황에서 우세하게 지각되는 정현파 자

극을 응답하는 과제를 통해 측정된 값으로 정의되었다. 따라서 두 효과를 정의하는 자극, 과제 등이 서로 달랐기 때문에 학습 효과가 훈련 효과로 전이되지 못했을 수 있다.

추적 검사 결과

후속 연구를 위해 7개월에서 1년이 지난 뒤 연락이 가능했던 통제 집단 2명, 기본 훈련 집단 6명, 주의 훈련 집단 4명의 참가자를 대상으로 훈련 효과가 계속해서 지속되는지 알아보았다. 표본 수가 충분하지 못해 통계 분석을 실시하지 못하였으며, 실험 결과만을 Figure 9에 보고하였다.

안과 검진 결과

지각 학습을 통해 안과 검진 상 변화가 발생했는지 알아보기 위해 분석을 실시하였다. 지각 학습을 실시하기 이전과 종료된 이후 측정된 안과 검진 결과 상 집단 간 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았다(Table 5, 나안시력(우안): $F(2,28)=1.401, p=.264$; 나안시력(좌안): $F(2,28)=.069, p=.933$; 최대교정시력(우안): $F(2,28)=.237, p=.791$; 최대교정시력(좌안): $F(2,28)=.216, p=.807$; 입체시(파리): $F(2,28)=1.00, p=.381$; 입체시(동물): $F(2,28)=1.00, p=.381$; 입체시(원): $F(2,28)=.075, p=.928$). 이러한 결과는 본 연구가 안과 검진 상 이상이 발견되지 않은 정상군을 대상으로 진행되었기 때문일 수 있다.

종합논의

본 연구에서는 주의 단서와 양안 통합 지각 학습이 양안 간 불균형적인 억제 관계를 균형 있게 변화시킬 수 있는지 알아보았다. 먼저 가장 신뢰롭게 양안 간 불균형적인 억제 정도를 측정하는 방법은 Xu 등(2010)의 SED 측정법이었다. 그 후 Xu 등(2010)이 고안한 푸시폴 지각 학습법에서 사용된 주의 단서와 Hess 등(2010)의 양안 통합 능력을 요구하는 평균 방위 변별 과제(Mansouri et al., 2008)를 함께 사용하여 두 지각 학습법의 훈련 효과를 SED 변화를 통해 비교하였다. 실험 결과 두 지각 학습법 모두 양안 간 불균형적인 억제를 효과적으로 감소시켰다. 비우세안 특정적 주의를 1) 비우세안에 제시되는 정보의 처리를 촉진시켰고, 2) 우세안이 비우세안을 억제하는 정도를 감소시켰다. 그러나 3) 주의를 양안 간 억제를 양안 통합 지각 학습보다 추가적으로 감소시키지는 못했다.

주의가 양안 통합 과제에 미치는 영향

양안 통합 과제를 수행하는데 주의를 주의 단서와 함께 제시된 자극의 정보 처리만을 특정적으로 촉진시켰다. 구체적으로 비우세안에 신호 자극과 주의 단서가 함께 제시되는 경우, 신호 자극의 처리가 촉진되어 양안 통합 과제의 수행 정확도가 향상되었다. 그러나 주의 단서와 잡음 자극이 함께 제시되는 경우에는 잡음 자극들의 정보 처리가 촉진되어 수행 정확도가 감소하였다. 이는 한 쪽 눈에 제시되는 주의 단서에 의해 그 눈의 정보 처리에만 주의 효과가 발생한다는 Zhang 등(2012)의 연구 결과와 일치한다. 그러므로 본 연구에서 한 쪽 눈에만 제시된 외인성 단서(exogenous cue)가 그 눈에 효과적으로 주의를 유도하였음을 의미한다. 이렇게 비우세안 특정적으로 유발된 주의를 비우세안에 제시된 정보 처리를 특정적으로 강화하였고, 강화된 정보 처리 결과는 양안 통합 과제의 수행에 반영되었다.

주의와 양안 통합이 양안 간 억제 감소에 미치는 영향

양안 통합 지각 학습법을 통해 양안 간 불균형적인 억제 관계가 감소되는 과정에서 비우세안에 제시되는 주의 단서는 두 가지 역할을 하였다. 첫째, Xu 등(2010)이 주장한 것과 마찬가지로 주의를 비우세안의 기능을 향상시킬 뿐 아니라 우세안의 기능을 억제하여 양안 간 억제를 감소시켰다. 구체적으로, 주의를 비우세안의 지각적 균형점은 낮추고 우세안의 지각적 균형점을 높임으로써 균형 잡힌 양안 간 통합이 가능하게 하였다.

두 번째로 주의를 양안 간 억제 감소가 나타나는 데 걸리는 시간을 단축시킬 가능성이 있다. 집단 간 통계적으로 유의한 차이를 발견하지 못하였지만, 주의 훈련 집단에서 기본 훈련 집단보다 통계적으로 유의한 양안 간 억제 감소가 먼저 나타났다. 이 결과는 하향식 주의를 학습 효과를 발현하는 과정에서 중요한 역할을 한다는 Byers와 Serences(2012)의 주장과 일치한다. 비록 본 연구에서 사용한 주의 단서는 상향식 주의를 사용했지만, 주의 단서에 따라 훈련 효과가 발현되는 시기가 달라질 가능성을 발견하였다. 나아가 본 연구 결과는 외인성 주의를 지각 학습의 훈련 효과를 유발하는데 영향을 미친다는 선행연구들과도 일치한다(Mukai et al., 2011; Szapiro & Carrasco, 2015).

그러나 주의를 양안 통합 지각 학습이 감소시킨 양안 간 불균형을 추가적으로 감소시키지는 않았다. Xu 등(2010)과 Ooi 등(2013)은 푸시폴 지각학습법이 비우세안에만 자극을 제시함으로써 비우세안의 기능만 선택적으로 강화한 기존의 학습법(Push-only)에 비해 SED를 더욱 많이 감소시키며 그

효과가 오래 지속된다고 주장했다. 그러나 본 연구의 결과에 따르면 Xu 등(2010)이 주장한 것과는 다르게 지각 학습 기간 동안 비우세안에 제시되는 주의 단서가 훈련 효과를 보다 더 증가시키지는 않았다. 하지만 우세안 능력 약화와 훈련 효과 발생 시기 단축은 훈련의 효율성 측면에서 중요하므로, 양안 통합 지각 학습법과 주의 단서를 함께 사용하여 시너지 효과를 도모할 수 있다

주의가 양안 통합 지각 학습 과정에만 영향을 미친 이유

본 연구 결과, 주의는 통계적으로 유의한 수준의 양안 간 불균형을 감소시키는 과정에서 두 가지 측면으로 영향을 미쳤지만, 결과적으로 줄어든 양안 간 불균형의 크기에는 영향을 미치지 않았다. 더욱이 양안 통합 지각 학습법에서의 수행 향상과 양안 간 억제 불균형 감소량 간의 통계적으로 유의한 상관관계가 발견되지 않았다. 이런 결과가 나타난 이유는 먼저 본 연구의 훈련 효과 측정 과제 자체의 특성과 지각 학습 과제의 특수성 때문일 가능성이 높다. 뿐만 아니라, 참가자들이 약시 환자가 아니었기 때문에 훈련 효과와 양안 간 억제 감소가 관련되지 않은 것처럼 보였을 수 있다.

먼저 본 연구에서는 초기 정보 처리 단계에서 처리되는 특성인 방위 정보로 이루어진 자극을 양안에 다르게 제시하며, 단안 특정한 주의를 조작하였다. 그렇기 때문에 본 연구의 지각 학습 과정은 초기 시각 피질(V1)의 방위 특정한 반응과 양안의 시각 정보가 통합되기 이전 단안 특정한 정보를 처리하는 눈 우세 기둥(ocular dominance column)과 관련이 있을 수 있다(Xu, He, & Ooi, 2012b). 많은 연구에서 시각 지각 학습이 매우 이른 시각 처리 단계에서 일어나는 경우, 학습한 자극 특성 및 위치 특징적으로만 훈련 효과가 나타났다(Ahissar & Hochstein, 1993; Seitz & Watanabe, 2005). 이 경향을 지각 학습의 특수성(specificity)이라고 하며, 이 때문에 훈련 효과는 학습하지 않은 과제와 자극으로 전이가 발생하지 않을 수 있다(Mastropasqua et al., 2015; Strong & Alvarez, 2017). 본 연구에서는 훈련 효과를 학습에 사용된 동일한 자극과 과제를 사용하여 측정하게 될 경우, 그 훈련 효과가 과제와 자극에 대한 연습 효과에서 비롯되었을 가능성을 배제할 수 없기 때문에 상이한 자극과 과제(측정: 정현파 격자 쌍-양안 결합 과제, 훈련: 가보 자극-평균 방위 변별 과제)를 사용하였다. 또한 Xu, He와 Ooi(2011)의 연구와 본 연구(실험 1)에서 Xu 등(2010)의 측정법을 통한 SED값과 참가자의 양안 부동역치 값이 높은 상관을 보여 Xu 등(2010)의 SED 측정법이 양안 간 억제를 정량화 할 뿐 아니라 양안 시각 기능을 잘

반영하는 측정법라고 생각했기 때문이었다. 그러나 지각 학습의 특수성 때문에 학습 단계에서 나타난 훈련 효과가 전혀 다른 자극으로 구성된 상이한 과제에 전이되지 않은 것으로 추측된다.

또한 본 연구의 참가자가 정상 나안 시력과 정상 수준의 양안 시각 기능을 갖춘 정상군이었으므로 훈련 효과 크기 자체가 작아서 집단 간 차이가 충분히 발생하지 않았을 수 있다. 통제 집단을 제외한 두 훈련 집단에서 통계적으로 유의한 훈련 효과를 발견하였지만, 그 크기는 평균 1.365%이었다. 즉, 훈련 효과가 집단 간 차이로 나타날 수 있는 범위가 너무 좁았다. 본 연구에서 발견된 초기 SED값이 클수록 훈련 효과가 큰 결과도 이 해석과 일치한다. 만약 SED값이 정상군에 비해 훨씬 큰 임상군을 대상으로 실시하였다면 지각 학습의 낮은 훈련 효과 전이 현상에도 불구하고 주의가 Xu 등(2010)과 Ooi 등(2013)이 제안한 것과 마찬가지로 양안 간 불균형 억제를 추가적으로 감소시킬 가능성이 있다.

결론

본 연구는 여러 연구자들이 제안한 SED 측정법 중 Xu 등(2010)의 SED 측정법이 가장 재측정 신뢰도가 높으며, 다른 시각 기능(예, 입체시)을 가장 잘 반영한다는 것을 발견하였다. 또한, 양안 통합 지각 학습법과 푸시풀 지각 학습법을 통해 양안 간 억제의 불균형을 감소시킬 수 있음을 발견하였다. 이때 학습이 효과적으로 나타나기 위해서 과제의 난이도는 너무 쉽거나 어렵지 않은 적절한 수준이어야 함을 발견하였다. 학습이 일어나는 과정에서 단안 특정한 주의 단서는 우세안의 기능을 억제하고, 유효한 효과가 발생하는 시점을 앞당겼다. 그러나 주의 단서는 양안 간 불균형적인 억제를 양안 통합 과제 그 이상 추가적으로 감소시키지는 못했다. 본 연구는 기존에 연구되었던 두 지각 학습법을 성공적으로 결합해 비교, 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 또한 단안 특정한 주의 단서가 비우세안에 제시되는 경우 우세안의 기능을 억제한다는 것을 발견하였으며, 지각 학습의 훈련 효과를 발현시키는 과정에서 상향적 주의가 하향적 주의와 유사한 역할을 할 가능성을 제기하였다.

References

Ahissar, M., & Hochstein, S. (1993). Attentional control of early perceptual learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 90*, 5718-5722.

- Baker, D. H., Meese, T. S., Mansouri, B., & Hess, R. F. (2007). Binocular summation of contrast remains intact in strabismic amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *48*, 5332-5338.
- Banks, M. S., Aslin, R. N., & Letson, R. D. (1975). Sensitive period for the development of human binocular vision. *Science*, *190*(4215), 675-677.
- Black, J. M., Thompson, B., Maehara, G., & Hess, R. F. (2011). A compact clinical instrument for quantifying suppression. *Optometry & Vision Science*, *88*, E334-E343.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, *10*, 433-436.
- Byers, A., & Serences, J. T. (2012). Exploring the relationship between perceptual learning and top-down attentional control. *Vision Research*, *74*, 30-39.
- DeLoss, D. J., Watanabe, T., & Andersen, G. J. (2014). Optimization of perceptual learning: Effects of task difficulty and external noise in older adults. *Vision Research*, *99*, 37-45.
- Dieter, K. C., Sy, J. L., & Blake, R. (2017). Individual differences in sensory eye dominance reflected in the dynamics of binocular rivalry. *Vision Research*, *141*, 40-50.
- Ding, J., & Levi, D. M. (2011). Recovery of stereopsis through perceptual learning in human adults with abnormal binocular vision. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*, E733-E741.
- Eaton, N. C., Sheehan, H. M., & Quinlan, E. M. (2016). Optimization of visual training for full recovery from severe amblyopia in adults. *Learning & Memory*, *23*, 99-103.
- Engineer, N. D., Engineer, C. T., Reed, A. C., Pandya, P. K., Jakkamsetti, V., Moucha, R., & Kilgard, M. P. (2012). Inverted-U function relating cortical plasticity and task difficulty. *Neuroscience*, *205*, 81-90.
- Hess, R. F., Mansouri, B., & Thompson, B. (2010). A new binocular approach to the treatment of amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *28*, 793-802.
- Hess, R. F., & Thompson, B. (2015). Amblyopia and the binocular approach to its therapy. *Vision Research*, *114*, 4-16.
- Hess, R. F., Thompson, B., & Baker, D. H. (2014). Binocular vision in amblyopia: structure, suppression and plasticity. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *34*, 146-162.
- Jin, Y. H. (1997). A new LogMAR vision chart: Jins vision chart. *Journal of the Korean Ophthalmological Society*, *38*, 2036-2044.
- Kham, K. (2015). The Development of Stereotest using Gabor Images in 3D Environment: An Explorative Study. *Journal of Broadcast Engineering*, *20*, 901-911.
- Levi, D. M., Knill, D. C., & Bavelier, D. (2015). Stereopsis and amblyopia: a mini-review. *Vision Research*, *114*, 17-30.
- Levi, D. M., & Li, R. W. (2009). Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: a mini-review. *Vision Research*, *49*, 2535-2549.
- Levi, D., & Saarinen, J. (2004). Perception of mirror symmetry in amblyopic vision. *Vision Research*, *44*, 2475-2482.
- Mansouri, B., Thompson, B., & Hess, R. F. (2008). Measurement of suprathreshold binocular interactions in amblyopia. *Vision Research*, *48*, 2775-2784.
- Mastropasqua, T., Galliussi, J., Pascucci, D., & Turatto, M. (2015). Location transfer of perceptual learning: Passive stimulation and double training. *Vision Research*, *108*, 93-102.
- McKee, S. P., Levi, D. M., & Movshon, J. A. (2003). The pattern of visual deficits in amblyopia. *Journal of Vision*, *3*, 380-405.
- Meese, T. S., Georgeson, M. A., & Baker, D. H. (2006). Binocular contrast vision at and above threshold. *Journal of Vision*, *6*, 1224-1243.
- Mukai, I., Bahadur, K., Kesavabhotla, K., & Ungerleider, L. G. (2011). Exogenous and endogenous attention during perceptual learning differentially affect post-training target thresholds. *Journal of Vision*, *11*, 1-15.
- Ooi, T. L., Su, Y. R., Natale, D. M., & He, Z. J. (2013). A push-pull treatment for strengthening the 'lazy eye' in amblyopia. *Current Biology*, *23* R309-R310.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, *10*, 437-442.
- Seitz, A., & Watanabe, T. (2005). A unified model for perceptual learning. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*, 329-334.
- Strong, R. W., & Alvarez, G. A. (2017). Training enhances attentional expertise, but not attentional capacity: Evidence from content-specific training benefits. *Journal of Vision*, *17*, 1-11.
- Szpiro, S. F., & Carrasco, M. (2015). Exogenous attention enables perceptual learning. *Psychological Science*, *26*,

- 1854-1862.
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Family Medicine, 37*, 360-363.
- Wick, B., Wingard, M., Cotter, S., & Scheiman, M. (1992). Anisometric amblyopia: is the patient ever too old to treat?. *Optometry & Vision Science, 69*, 866-878.
- Xu, J. P., He, Z. J., & Ooi, T. L. (2010). Effectively reducing sensory eye dominance with a push-pull perceptual learning protocol. *Current Biology, 20*, 1864-1868.
- Xu, J. P., He, Z. J., & Ooi, T. L. (2011). A binocular perimetry study of the causes and implications of sensory eye dominance. *Vision Research, 51*, 2386-2397.
- Xu, J. P., He, Z. J., & Ooi, T. L. (2012a). Perceptual learning to reduce sensory eye dominance beyond the focus of top-down visual attention. *Vision Research, 61*, 39-47.
- Xu, J. P., He, Z. J., & Ooi, T. L. (2012b). Push-pull training reduces foveal sensory eye dominance within the early visual channels. *Vision Research, 61*, 48-59.
- Yang, E., Blake, R., & McDonald, J. E. (2010). A new interocular suppression technique for measuring sensory eye dominance. *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 51*, 588-593.
- Zhang, P., Jiang, Y., & He, S. (2012). Voluntary attention modulates processing of eye-specific visual information. *Psychological Science, 23*, 254-260.

주의와 양안 통합 시각 학습이 양안 간 억제 불균형 감소에 미치는 영향

이은빈¹, 장지웅^{1,2}, 정상철^{1,3*}

¹연세대학교 인지과학협동과정

²인제대학교 의과대학 일산백병원 안과학교실

³연세대학교 심리학과

두 눈의 시력차가 큰 약시 환자들의 경우 양안 간 불균형적인 억제로 인해 양안 통합에 어려움을 겪는다(Meese, Georgeson, & Baker, 2006). 이를 해소하기 위해 본 연구에서는 먼저 양안 간 억제 측정법들을 상호 비교하였다(실험 1). 이 중 신뢰도가 가장 높으며, 다른 시각 기능을 가장 잘 반영하는 측정법(Xu, He, & Ooi, 2010; 실험 1)을 활용해 정상군 중 일정 수준 이상의 양안 간 불균형적인 억제를 형성하고 있는 참가자를 선정했다(실험 2). 그 후 Xu 등(2010)의 푸시풀 시각 학습법과 Hess, Mansouri와 Thompson(2010)의 양안 통합 시각 학습법을 이용해 양안 간 불균형적인 억제를 감소시키고자 했다(실험 3). 실험 결과 두 시각 학습법 모두 비슷한 정도로 양안 간 억제의 불균형을 감소시켰다. 또한 푸시풀 시각 학습법의 비우세안 특정적인 주의는 비우세안에 제시되는 자극의 정보 처리를 촉진시켰고, 우세안이 비우세안을 억제하는 정도를 감소시켰으므로 양안 간 억제의 불균형 감소가 신속하게 나타나도록 유도했다(실험 3). 이 결과는 두 시각 학습법과 비우세안 특정적인 주의가 양안 간 억제의 불균형을 감소하는 데 중요한 역할을 한다는 것을 시사한다.

주제어: 주의, 시각 학습, 양안 간 억제, 약시