

# 눈 운동 측정을 이용한 추적 눈 운동 동안의 모양지각 왜곡에 대한 참조대상의 영향 검증

이형철 (광운대학교 산업심리학과), Frans Cornelissen (Department of Neuroscience, Groningen University), Eli Brenner (Department of Biological Science, Erasmus University), hyung@kw.ac.kr

## Examination of the effect of reference on shape perception during pursuit by measuring eye movement

Hyung-Chul O. Li (Department of Industrial Psychology, Kwangwoon Univeristy), Frans Cornelissen (Department of Neuroscience, Groningen University), Eli Brenner (Department of Biological Science, Erasmus University)

### 요 약

최근의 연구에서 Li, Brenner, Cornelissen과 Kim (2002)은 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각이 망막에 형성된 이미지 내용을 그대로 반영한다는 것을 보여 주었는데, 이러한 연구는 2차원 모양판단에 있어서 눈 운동 정보가 전혀 고려되지 않았음을 시사한다. 이와 같은 실험실 연구와 달리, 실제 생활에서 2차원 모양지각의 왜곡은 대부분의 경우에 발생하지 않는데, 가능한 한 가지 이유는 실험실 연구에서 사용된 자극의 경우에 참조대상이 존재하지 않는데 비하여, 실제 생활에서는 다양한 참조대상이 목표대상의 주변에 존재하기 때문이다. 목표대상과 참조대상의 상대적인 위치관계는 추적 눈 운동 동안에 망막에서도 그대로 유지되는데 시각체계가 이러한 안정적인 관계를 목표대상의 모양을 지각할 때에 이용할 가능성이 있다. 본 연구에서는 다양한 참조대상을 이용하여 이러한 가능성을 검증하였다. 특히, 피험자의 눈 운동을 눈 운동 측정기를 이용하여 측정하였으며, 적절한 눈 운동을 수행한 시행에서의 데이터만 분석에 사용하였다.

Helmholtz(1867/1925)는 눈 운동 동안에 형성되는 망막 상 신호에서 눈 움직임 신호를 감산함으로써 눈 운동 동안에 나타나는 안정적인 공간지각이 가능하다고 제안하였다. 최근의 연구에서 Li, Brenner, Cornelissen과 Kim (2002)은 추적 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 대상의 지각된 2차원 모양이 체계적으로 왜곡된다는 것을 보고하면서 지각된 모양이 단순히 추적 눈 운동 동안에 망막에 형성된 대상의 상을 그대로 반영한다는 것을 보여 주었다. 하지만, Li등의 실험실 상황에서의 연구결과와 달리, 일상생활에서는 끊임없는 눈 운동에도 불구하고 우리는 외부세계의 속성을 안정적으로 지각한다. 끊임없는 눈 운동에도 불구하고 일상생활에서 어떻게 외부세계의 속성을 안정적으로 지각할 수 있는 것일까?

한 가지 가능성은 일상생활에서 목표대상 주위에 다양한 참조대상이 존재하며 또한, 끊임없는 눈 운동에도 불구하고 목표대상과 참조대상의 상대적인 위치가 망막 상에서도 그대로 유지된다는 사실을 우리의

시각체계가 이용할 수 있다는 것이다. 본 연구는 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의된 대상의 2차원 모양판단에 참조대상의 정보가 이용되는지를 검증하였다.

### 실험 1

추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각에 대한 참조대상의 영향을 검증하기 위하여 목표대상과 동일한 크기를 갖는 회색 원형이 목표대상의 왼쪽 위 모서리에 정렬되도록 제시되었다. 목표대상의 주위에 참조대상이 존재하는 참조조건과의 비교를 위하여 참조대상이 존재하지 않는 비 참조 조건이 실험에 포함되었다. 목표대상의 모양을 보고하기 위하여 사용된 예시대상 (set figure)이 배경과의 명도대비에 의하여 정의된데 반하여 실험에서 목표대상은 명도대비가 아닌 중첩패턴에 의하여 정의되었다.

방법

피험자

실험가설을 알지 못하는 다섯명의 피험자가 실험에 참여하였다. 모든 피험자들은 정상 또는 정상교정시력을 지녔다.

자극

매 시행, 목표대상은 다섯 가지 모양 중에서 하나로 무선적으로 결정되었다: 0도, 15도, 30도, 45도, 60도. 참조대상은 매 시행, 두 가지 명도 대비 중 하나를 갖도록 무선적으로 결정되었다: 0, 255. 참조대상의 명도대비가 0인 조건에서 참조대상과 화면배경의 명도가 동일하였으므로 이 조건은 실질적으로 참조대상이 존재하지 않는 조건과 동일하였다. 목표대상의 높이와 수평방향으로 움직이는 막대가 목표대상과 중첩되는 길이는 2도로써 동일하였다. 목표대상의 모양을 보고하기 위하여 사용된 예시대상 (set figure)은 0도의 목표대상과 동일한 척도를 지녔다. 턱받이에 피험자의 턱을 고정시킴으로써 피험자의 머리 움직임을 최소화 하였다.

눈 운동 측정

피험자의 눈 운동은 Matlab 함수모음인 Eyelink Toolbox (Cornelissen, Peters & Palmer, 2002)와 이미지 기반 적외선 눈 운동 측정기 (Eyelink Gazetracker; SensoMotoric Instruments, Teltow, Germany)에 의해 250Hz의 빈도로 측정되었다.

절차

피험자들은 화면 중앙의 왼쪽에서 오른쪽으로 움직이는 적색 추적점을 머리를 고정한 상태에서 추적하도록 요구되었다. 목표대상이 제시된 후에 예시대상 (66 cd/m<sup>2</sup>) 이 제시되었는데 피험자들은 목표대상의 지각된 모양을 보고하기 위하여 지각된 모양과 동일해지도록 컴퓨터의 마우스를 이용함으로써 예시대상의 모양을 조작하여 보고하였다.

결과

비 참조 조건에서 피험자들의 모양판단은 이 망막에 형성된 모양에 매우 근접해 있고 참조조건에서는 여기로부터 약간 벗어나 있다. Li 등의 연구는 추적 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 대상의 모양지각 왜곡정도는 단순히 눈 운동에 의한 망막상의 이미지 변화를 대부분 반영한다는 결과를 보여주는데, 피험자의 모양지각 왜곡이 눈 운동에 의한

망막상의 이미지 변화를 반영하는 것에서 얼마나 벗어나는지를 알려 주는 눈 운동 설명량 지표가 다음과 같은 공식에 의하여 계산되었다.

$$\text{눈 운동 설명량} = \frac{100X(\text{반응 각도} - \text{망막 상에서의 각도})}{(\text{모니터 상에 제시된 목표대상의 각도} - \text{망막 상에서의 각도})}$$

먼저 각 피험자별로 목표대상의 모양에 따른 눈 운동 설명량을 계산하였고, 목표대상의 모양전체에 걸친 각 피험자의 평균값을 계산하고 전체피험자의 평균 눈 운동 설명량을 계산하였다. 그림 4에서 오차막대는 95% 신뢰구간을 나타낸다. 비 참조 조건에 비하여 참조 조건에서 눈 운동 설명량이 약간 증가하였다.

논의

실험 1의 결과는 목표대상 주위에 참조대상이 존재할 때에 추적 눈 운동 동안의 목표대상의 모양지각 왜곡은 감소하는 경향을 보인다. 하지만, 참조대상이 존재할 때와 존재하지 않을 때에 모양지각 왜곡의 차이는 크지 않다. 눈 고정 조건에서의 눈 운동 설명량은 눈 운동 설명량에 대한 피험자의 편파를 나타내는데, 이러한 고정적인 피험자의 눈 운동 설명량에 대한 편파를 고려할 때, 참조 조건에서의 눈 운동 설명량은 매우 작음을 알 수 있다. 이러한 결과들은 참조대상이 존재하지 않을 때에 나타나는 모양지각 왜곡이 감소하기는 하지만, 참조대상이 존재할 때에도 모양지각 왜곡이 유사한 정도로 존재함을 시사한다. 실험 1에서 목표대상은 사각형 또는 사다리꼴인데, 참조대상은 원형이었다. 목표대상의 구석부분에 대하여 원형 참조대상이 안정적인 공간참조 정보를 제공하지 못하였다고 가정하고 또한 만약 피험자가 목표대상의 구석 정보에 근거하여 목표대상의 모양을 판단하였다면 참조대상이 존재할 때에도 불구하고 모양지각의 왜곡이 참조대상의 존재유무에 관계없이 발생할 수 있다. 실험 2에서는 이러한 가능성을 검증하였다.

실험 2

참조대상의 효과가 미약한 한 가지 가능한 이유는 사각형 모양의 목표대상과 상이한 원형모양의 참조대상이 사용되었기 때문일 수 있다. 이러한 가능성을 검증하기 위하여 목표대상과 동일한 모양을 갖는 참조대상이 실험 2에서 사용되었다.

방법

피험자

실험 1에 참가한 피험자들이 실험 2에 참가하였다.

자극

실험자극은 기본적으로 실험 1에서의 동일한 방식으로 구성되었다. 실험 1과의 차이점은 실험 2에서 참조대상의 모양이 목표대상의 모양과 동일하다는 것이다. 목표대상과 참조대상은 모니터에서 다음 다섯 가지 모양 중 한 가지를 갖도록 조작되었다: 0도, 20도, 35도, 48도, 60도. 참조대상의 모양이 목표대상과 동일한 모양을 갖는다는 사실을 피험자가 아는 것이 목표대상의 모양지각에 영향을 줄 수 있다. 이러한 가능성을 막기 위하여 목표대상의 모양으로부터 +15도 또는 -15도 벗어난 두 가지 종류의 참조대상의 포함되었다. 매 시행, 참조대상이 포함되거나 포함되지 않도록 무선적으로 조작하였으며, 참조대상이 존재하는 경우에 배경화면에 대한 참조대상의 명도대비는 10%가 되도록 고정하였다.

절차

실험 2의 절차는 기본적으로 실험 1의 절차와 동일하였다. 실험 1에서의 달리, 실험 2에서 참조대상의 크기와 모양이 목표대상의 크기 또는 모양과 동일한 조건이 포함되었다.

결과

참조대상과 목표대상의 거리는 설명량에 영향을 미치지 않았고 참조대상의 크기는 미미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, 실험 2의 결과 분석을 위하여 각 피험자 및 각 목표대상의 모양별로 목표대상과 참조대상과의 다양한 거리에 따른 자료와 참조대상의 다양한 크기에 따른 자료들이 통합되었고 평균값이 계산되었고 최종적으로 95% 신뢰구간의 전체피험자 평균이 계산되었다. 비참조 조건에 비하여 참조 조건에서의 설명량이 상대적으로 높았다. 참조대상의 모양이 사각형인 실험 2의 참조조건에서의 설명량은 참조대상의 모양이 원형이었던 실험 1의 참조조건에서의 설명량과 유사한 정도로 나타났다. 참조대상의 기울기는 결과에 영향을 미치지 않았다.

논의

비참조 조건에 비해서 참조조건에서의 설명량은 상대적으로 증가하였다. 이러한 실험 결과는 목표대

상 주위의 참조대상의 정보를 시각체계가 이용한다는 것을 시사한다. 그러나, 두 조건에서의 설명량의 차이는 미미하였고 보다 중요한 것은 참조대상이 존재하는 조건에서도 여전히 목표대상의 모양지각 왜곡이 경험된다는 것이다. 이러한 결과는 참조대상의 존재자체가 눈 운동 동안의 망막 상에서의 목표대상의 이미지 왜곡을 완전하게 보정하지 못한다는 것을 시사한다. 실험 2의 참조조건과 비참조 조건에서의 설명량은 실험 1에서의 두 조건의 설명량과 각각 유사함을 보인다. 이러한 결과는 참조대상의 모양이 추적 눈 운동 동안의 모양지각의 왜곡에 영향을 미치지 않음을 시사한다.

실험 3

실험 2에서 검증하였던 참조대상과 목표대상의 거리범위보다 넓은 거리범위가 실험 3에서 검증되었다. 실험 2에서의 참조대상의 모양은 사각형이었던데 반하여 실험 3에서는 실험 1에 사용된 원형 모양의 참조대상을 사용하였다.

방법

피험자

실험 1과 실험 2에 참가하였던 피험자들이 실험 3에 참가하였다.

방법

자극

참조대상과 목표대상의 거리가 조작되었다는 것을 제외하고 실험 3에 사용된 자극은 실험 1에 사용된 자극과 동일하였다. 또한 참조대상의 모양이 원형이고 보다 큰 참조대상과 목표대상의 거리범위가 조작되었다는 것을 제외하고 실험 3의 자극은 실험 2의 자극과 동일하였다.

절차

실험 3의 절차는 실험 1의 절차와 동일하였다.

결과

참조대상과 목표대상의 거리가 증가함에 따라서 설명량도 증가하였다. 참조대상과 목표대상이 중첩되는 거리 0 조건에서 참조조건과 비참조 조건간의 의미있는 차이가 발견되었다. 목표대상과 중첩대상의 거리가 128 픽셀에 근접할수록 참조조건의 설명량은 비

참조 조건의 설명량에 근접하였다.

### 논의

실험 2에서 참조대상이 목표대상의 모양지각 왜곡에 영향을 미친다는 것을 발견하였지만 목표대상과 참조대상의 거리는 영향을 주지 않는 것처럼 보였다. 실험 2에서 조작된 참조대상과 목표대상의 거리는 최대 20 픽셀이었던데 반하여, 실험 3에서는 최대 128 픽셀이었다. 실험 3에서 참조대상과 목표대상의 거리가 설명량에 영향을 주는 것을 확인하였다. 이러한 실험 결과는 실험 2에서 참조대상과 목표대상의 거리가 설명량에 영향을 주지 않는 것처럼 나타난 결과가 실험 2에서 조작된 거리의 범위가 제한되었기 때문임을 시사한다.

### 종합논의

일상생활에서 추적 눈 운동이 발생할 때 망막 상의 이미지가 끊임없이 움직임에도 불구하고 시각체계는 외부세계를 안정적으로 표상한다. Helmholtz는 시각체계가 눈 운동 정보를 이용하여 망막 상의 이미지를 보정 (calibration) 하는데 성공하면 눈 운동 중에도 3차원 공간의 속성을 안정적으로 표상할 수 있다고 제안하였다. 그러나, Helmholtz가 제안한 눈 운동 정보를 이용한 망막 상 이미지의 보정이 완벽하게 작용하지 않음을 보여주는 연구결과들이 지속적으로 보고되어 왔다 (Aubert, 1886; Filehne, 1922; Fleischl, 1882; Mack & Herman, 1978). Freeman과 Banks (1998)는 망막 상 정보 (retinal information)와 망막 상 외적 정보 (extra-retinal information 또는 eye position information)를 추정할 때의 상대적인 오차가 공간지각에서의 오류로 나타난다고 제안하였다. 최근에 Brenner와 Cornelissen (2000) 그리고 Li 등 (2002)은 상대적인 위치지각과 시공간적으로 정의된 대상의 2차원 모양지각에서 시각체계가 눈 운동 정보를 전혀 사용하지 않을 수 있다는 것을 보여 주었다. 흥미로운 것은, 실생활에서 우리는 눈 운동 동안에 공간지각에서의 오류를 거의 경험하지 않는다는 것이다. 만약, 시각체계가 눈 운동 정보를 사용하지 않는다면, 안정적인 3차원 공간 표상은 어떻게 가능한 것일까? 그동안 실험실에서 관찰된 눈 운동 동안의 공간지각 왜곡은 대부분의 경우에 제한된 상황에서 관찰되었다. 제한된 실험실 상황과 실제 세계의 차이점은 실험실 모니터에 제시되는 자극상황에 비하여 실제세계는 다양하고 풍부한 배경자극과 참조자극을 포함하고 있다는 것이다. 우리는 본 연구에서 시각체계가 목표대상 주위에 존재하는 참

조대상의 정보를 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각에서 사용하는가를 검증하였다.

본 연구의 실험결과는 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각에 참조대상의 정보가 이용됨을 시사하는데, 하지만 참조대상의 정보를 이용한다는 것 자체만으로는 실제생활에서 획득되는 2차원 모양표상의 안정성과 정확성을 완벽하게 설명하지 못함을 시사한다. 본 연구에서 밝혀진 바와 같이 참조대상이 존재하지 않는 비 참조조건에 비하여 참조조건에서 설명량이 유의미하게 증가하였지만 그 양은 매우 작았다. 더욱 중요한 것은 참조대상이 목표대상의 주위에 존재함에도 불구하고 추적 눈 운동 동안의 모양지각 왜곡이 여전히 관찰된다는 점이다. 본 연구는 참조대상의 존재가 눈 운동 동안의 공간표상에서의 오류를 감소시키기는 하지만, 일상생활에서 관찰되는 눈 운동 동안의 공간지각의 안정성과 정확성을 완벽히 설명하지 못한다는 것을 보여준다. 그렇다면 눈 운동 동안의 공간지각의 안정성과 정확성은 어떻게 해결되는 것일까에 대한 추가적인 질문은 앞으로의 연구문제로 남는다.

### 참고문헌

- Aubert, H. (1886). Die Bewegungsempfindung. *Pflügers Archiv*, 39, 347-370.
- Brainard, D. H. (1997) The *Psychophysics Toolbox*, *Spatial Vision* 10:433-436.
- Brenner, E. & Cornelissen, F. W. (2000). Separate simultaneous processing of egocentric and relative positions. *Vision Research*, 40, 2557-2563.
- Brenner, E. & Smeets, J. B. J. (1998). Using oculo-motor efference to predict a moving target's position. In B. Bril, A. Ledebt, G. Dietrich, & A. Roby-Brami, *Advances in perception-action coupling* (pp. 90-94). Paris: *EDK*.
- Cornelissen, F. W., Peters, E., & Palmer, J. (2002). The eyelink toolbox: eye tracking with MATLAB and the psychophysics toolbox. *Behavioral Research Methods, Instrumentation and Computers* (in press).
- Filehne, W. (1922). Über das optische Wahrnehmen von Bewegungen. *Zeitschrift für Sinnphysiologie*, 53, 134-145.
- Fleischl, E. V. (1882).

Physiologisch-optische Notizen, 2 Mitteilung.  
*Sitzung Wiener Bereichder Akademie der  
Wissenschaftler, 3, 7-25.*

Freeman, T. C. A. & Banks, M. S.  
(1998). Perceived head-centric speed is affected by  
both extra-retinal and retinal errors. *Vision  
Research, 38, 941-945*

Helmholtz, H. von (1867/1925) *Treatise  
on physiological optics* (from 3rd German edition,  
Trans.) (3rd ed., Vol III). New York: Dover  
Publications.

Honda, H. (1995). Visual Mislocalization  
produced by a rapid image displacement on the  
retina: examination by means of dichoptic  
presentation of a target and its background scene.  
*Vision Research, 35, 3021-3028.*

Li, H.-C. O., Brenner, E., Cornelissen,  
F. W., & Kim, E. (2002). Systematic distortion of  
perceived 2D shape during smooth pursuit eye  
movements. *Vision Research, 42, 2569-2575.*

Mack, A. & Herman, E. (1978). Position  
constancy during pursuit eye movements: in  
investigation of the Fiehe Illusion. *Quarterly  
Journal of Experimental Psychology, 25, 71-84.*

Mitrani, L., Dimitrov, G., Yakimoff, N.,  
& Mateef, S. (1979). Oculomotor and perceptual  
localization during smooth eye movements. *Vision  
Research, 19, 609-612.*

Mita, T., Hironaka, K., & Koike, I.  
(1950). The influence of retinal adaptation and  
location on the "Empfindungszeit". *The Tohoku  
Journal*

\* 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-042-H20004).