

## The Effect of Retinal and Perceived Motion Trajectory of Visual Motion Stimulus on Estimated Duration of Motion\*

Jong-Jin Park<sup>1</sup>, Hyung-Chul O. Li<sup>1†</sup>, ShinWoo Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kwangwoon University

It is well known that estimated duration on moving stimulus which is presented about one second might be distorted depending on its spatial features. The distortion disappeared, however, when spatial features of a pair of measuring stimulus are perceived as the same with depth cue. This phenomenon is called time constancy. The aim of the current research is to examine the alternative hypothesis that time constancy is a consequence of size constancy. In the study, Mueller-Lyer illusion was used to measure perceived duration on a pair of stimulus which has the same retinal or perceived motion trajectories. The result shows that estimated duration of the test stimulus was overestimated when the length of perceived trajectories was longer than retinal trajectories compared to that of the standard stimulus and underestimated when the length of perceived trajectory was smaller than retinal trajectory compared to that of the standard stimulus. This implies that distortion in duration perception could be caused even when motion trajectory was perceived the same. This finding is a counterexample against the alternative hypothesis that time constancy might be a consequence of size constancy.

**Keywords:** duration Perception, time constancy, size constancy, perceived Trajectory

1차원고접수 21.05.17; 수정본접수: 21.07.14; 최종게재결정 21.07.19

인간이 환경 속에서 성공적으로 생존하려면 다양한 대상들과 상호작용해야 한다. 이 과정에서 환경의 공간구성, 물체, 물체의 운동시간과 같은 시공간(spatio-temporal) 정보의 표상이 필요하다. 시각체계(visual system)는 이 정보들을 공간지각(spatial perception)과 시간지각(time perception) 기제로 지각한다. 공간지각은 시각체계가 이차원 망막 상(retinal image)을 바탕으로 환경의 삼차원 공간구성(spatial configuration)을 지각하는 과정을 말한다. 환경 속 물체에 의하여 맺힌 망막 상 크기는 관찰자로부터 물체까지의 거리(깊이, depth)에 따라 체계적으로 달라지기 때문에 망막 상 크기만으로 추론된 환경 속 물체의 크기는 때에 따라 정확하지 않을 수 있다. 따라서 시각체계가 환경 속 물체를 지각하

는 과정에서 망막 상의 크기는 깊이단서(depth cue)로 교정되며, 환경 속 물체의 크기가 일관적으로 표상된다. 이 기제를 크기항등성(size constancy)이라고 부른다(Sperandio, & Chouinard, 2015).

한편, 시간지각은 공간지각과 달리 시간정보를 직접 전달하는 시간양식(temporal mode)을 가지지 않는 이차적(second-order) 정보처리 과정이다. 따라서 시각자극에 대한 시간지각은 망막 상에 포함된 단서를 바탕으로 이루어진다. 망막 상 크기와 같은 공간특성과 다르게 망막 상에서 얻을 수 있는 운동 시작과 끝에 대한 정보는 환경 속 물체의 운동시간에 완전히 대응한다. 따라서 시간지각이 이상적인 관찰자(ideal observer)처럼 동작한다면 운동하는 물체에 대한

\* 이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원(NRF-2018S1A5B5A07073758)과 2020년도 광운대학교 교내연구비(이형철)의 지원을 받아 수행된 연구임.

† 교신저자: 이형철, (01891) 서울 노원구 광운로 27-38, E-mail: hyung@kw.ac.kr

시간지각은 항상 정확할 것이라고 기대할 수 있다(Geisler, 2011). 그러나 운동자극의 망막 상 공간특성(spatial feature) 또는 지각된 공간특성이 1초 내외의 짧은 제시시간 지각을 왜곡시키는 현상은 시간주파수, 망막 상 속도, 지각된 속도, 망막 상 이동거리, 망막 상 특성 등 여러 공간특성을 대상으로 하는 연구들에서 반복적으로 보고되었다(Abe, 1935; Kaneko, & Murakami, 2009; Linares & Gorea, 2015; Gorea & Kim, 2015; Kanai, Paffen, Hogendoorn, & Verstraten, 2006; Gorea & Hau, 2013).

운동하는 시각자극의 공간특성이 언제나 시간지각 왜곡을 유발시키는 것은 아니다. 시간항등성(time constancy)은 병진 운동(translational motion) 하는 두 시각자극의 지각된 공간 특성이 동일할 때 두 운동자극의 상대적 제시시간이 동일하게 지각되는 현상이다(Lisi & Gorea, 2016). Lisi와 동료는 다양한 망막 상 크기(retinal image size)를 가지며 망막을 가로질러 병진운동 하는 구형(sphere) 두 시각자극이 상대적 제시시간을 비교하여, 두 시각자극의 지각된 공간특성이 지각된 제시시간에 미치는 영향을 측정하였다. 이 자극은 두 측정자극을 배경 없이 수직위치와 크기를 무선적으로 조합하여 제시한 무선조건, 두 측정자극을 배경은 없지만 수직위치 증가에 따라 망막 상 크기가 감소하도록 조합하여 제시한 수직위치 대응조건, 수직위치 대응조건에 더하여 깊이단서를 포함한 배경을 추가하여 모든 측정자극의 지각된 크기를 일치시킨 깊이-크기 대응 조건으로 제시되었다. 그 결과 무선 조건과 수직위치 대응 조건에서 운동자극의 망막 상 크기나 운동궤적 길이가 지각된 운동시간에 영향을 미쳤지만, 깊이-크기 대응 조건은 왜곡이 관찰되지 않았다. 즉, 시간측정을 위한 두 자극의 공간특성이 동일하게 지각되는 경우 시간지각 왜곡이 사라지는 현상인 시간항등성이 관찰되었다. 이 현상은 곧바로 크기항등성과 시간항등성 사이의 관계에 대한 의문으로 이어진다. 시간항등성이 별개 현상이 아니라 비교 자극과 시험자극의 지각된 크기와 속도(또는 운동거리)가 일치하는 현상의 결과, 다시 말하면 크기항등성 또는 속도항등성의 결과일 가능성이 있기 때문이다(Lisi et al., 2016).

본 연구의 목표는 Lisi 등의 연구결과를 설명하는 대안적 가설 중 하나인, 시간항등성이 별도 기제가 아니며 지각된 운동시간 일치가 크기항등성의 결과일 가능성이 있다는 가설을 검증하는 것이다. 구체적으로, 시간측정을 위한 두 자극인 표준자극과 시험자극의 운동궤적 길이를 동일하게 지각하는 것이 운동자극의 제시시간을 동일하게 지각하게 하는지 검증하였다. 이 가설을 직접 검증하는 방법 중 하나는 표준 자극과 시험자극의 지각된 운동궤적(perceived trajectory)을

일치시키고 망막 상 운동궤적(retinal trajectory)을 조작하였을 때 비교자극의 지각된 제시시간에서 시간항등성을 보이는지 관찰하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위하여 수평선 길이 착시를 유발하는 뮐러-라이어(Mueller-Lyer) 자극을 사용하여 운동하는 두 시각자극의 망막 상 운동궤적과 지각된 운동궤적을 각각 통제하고, 각 운동궤적 조작이 지각된 제시시간에 미치는 영향을 측정하였다. 첫 번째 실험은 망막 상 운동궤적을 통제된 상태로 지각된 운동궤적을 조작하여 지각된 제시시간을 측정하였고, 두 번째 실험은 지각된 운동궤적을 통제된 상태로 망막 상 운동궤적을 조작하여 지각된 제시시간을 측정하였다.

### 실험 1. 운동하는 시각자극의 망막 상 운동궤적 길이가 통제되었을 때 지각된 운동궤적 길이가 제시시간 지각에 미치는 효과

이 실험의 목적은 뮐러-라이어 착시 유도자극 방향에 따른 지각된 제시시간 왜곡 효과의 크기와 방향을 측정하고, 이어지는 실험의 측정 결과와 함께 시간항등성이 두 시간측정 자극의 지각된 공간특성이 일치한 결과 유발되는 현상일 것이라는 연구가설을 검증하는 것이었다. 이 목적을 달성하기 위하여 수평선 길이 착시를 유발하는 뮐러-라이어 자극을 사용하여 표준자극과 시험자극의 망막 상 운동궤적이 일치하는 상태에서 시험자극의 지각된 운동궤적 길이를 조작하였다.

## 방 법

### 참가자

광운대학교 소속 13명의 참가자가 금전적 보상을 받고 실험에 자발적으로 참가하였다. 모든 참가자는 정상 또는 교정 후 정상 시력이었다. 실험자는 참가자들이 실험하는 모습을 단방향 투과성 거울을 통하여 실험부스 옆에서 관찰하였으며, 모든 참가자들은 그 사실을 사전에 고지받았다. 이후 분석 과정에서 실험 진행을 불성실하게 수행한 3명의 자료를 제외하였다. 이들 중 한 명은 실험자의 실험 지시를 위반하였으며, 나머지 두 명은 실험 진행 중 졸았다.

### 기구

자극을 제시하기 위하여 LG사의 24인치 LCD모니터(1920 × 1080 해상도, 너비 52 cm, 높이 28.5 cm)를 사용하였다. 실험자극을 제시하기 위한 프로그램은 직접 작성하였으며, Mathwork 사의 Matlab과 지각심리학 실험 자극

제작용 함수 모음인 Psychtoolbox 3을 사용하여 구현되었다(Brainard, 1997; Pelli, 1997; Kleiner, Brainard, Pelli 2007).

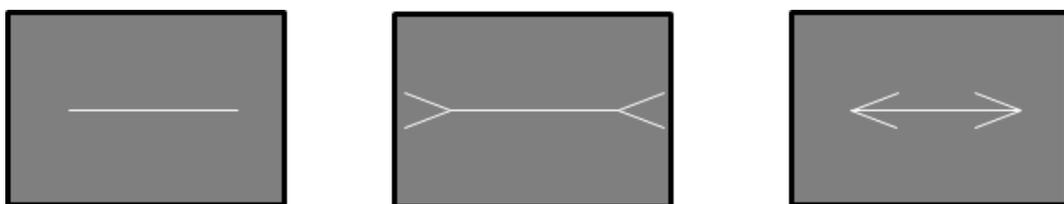
**실험자극**

실험자극은 운동자극과 운동궤적 자극(그림 1)으로 구성되었다. 운동자극은 붉은 점으로, 표준자극(standard stimulus) 위에서 항상 1초 동안 제시되었으며(초당 8도의 속도), 시험자극(test stimuli) 위에서 0.5초에서 1.5초 범위 내에서 제시되었다(초당 16도 - 5.3도의 속도). 운동자극은 항상 운동궤적 자극 위에서 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 운동하였다. 운동궤적 자극은 표준자극과 시험자극으로 구성되어 있었다. 표준자극은 회색 배경위에 제시된 흰색 수평 선분 자극이었다(그림 1, 왼쪽). 시험자극은 통제조건(수평선분, 그림 1 왼쪽)과 두 종류의 시험조건, 즉 지각된 운동궤적 조작 조건(서로 다른 길이 착시를 유발하는 뮐러-라이어 자극, 그림 1 중앙, 오른쪽)으로 구성되었다. 통제조건은 표준자극과 동일하였다. 시험조건인 수평 선분은 같은 망막 상 길이를 가지는 표준자극의 수평선분보다 길거나 짧게 지각되도록 조작하기 위하여 뮐러-라이어 유도자극을 수평선분 양 끝에 배치하였다. 유도자극은 수평선분 양 끝에 두 개씩 총 네 개의 선분으로 구

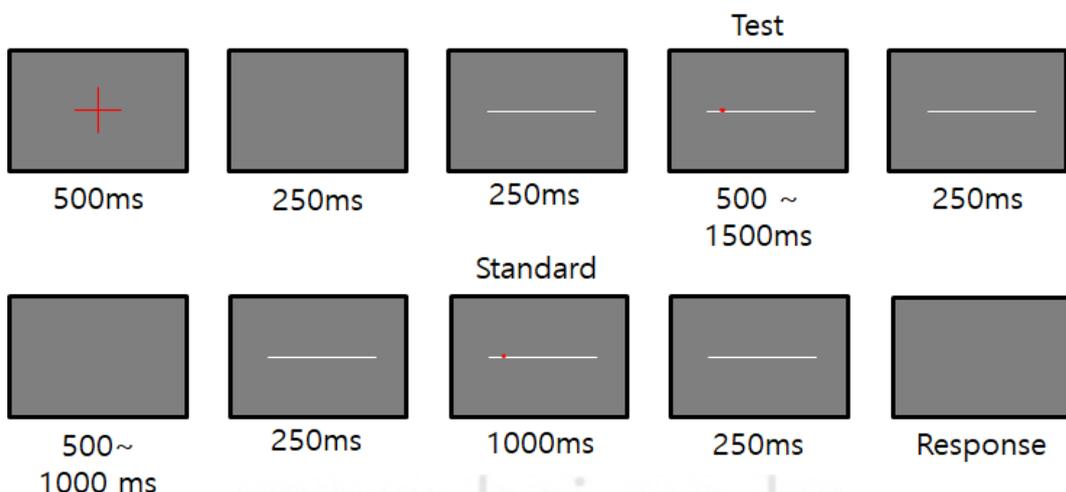
성되었으며, 각 수평선분의 길이는 2.4도였고 유도자극은 수평선으로부터 각각 15도씩 떨어져 유도자극의 사이각은 30도였다. 이 유도자극이 그림 1의 중앙 열과 같이 선분 바깥쪽을 향하는 경우(외측 유도자극 조건, outward extended) 착시자극이 추가된 수평선분은 같은 길이의 수평선분에 비하여 길게 지각되며, 그림 1의 우측 열과 같이 유도자극이 선분 안쪽을 향하는 경우(내측 유도자극 조건, inward extended) 착시자극이 추가된 수평선분은 같은 길이의 수평선분에 비하여 짧게 지각된다.

**절차**

참가자들은 실험 내용에 대한 전체적인 설명을 모두 안내받은 다음 연달아 제시되는 두 자극을 관찰하고 더 오랜 시간 동안 운동하는 것으로 지각되는 자극이 첫 번째 또는 두 번째 중 무엇인지 판단하여 키보드로 반응(첫 번째 자극: “z”, 두 번째 자극: “/”)하는 2IFC(two-interval forced choice)과제 수행을 요청받았다. 각 시행이 시작되면 참가자는 화면 중앙에 제시되는 붉은 응시점 자극(fixation crosshair) 위치를 주시할 것을 요청받았다. 이 자극은 참가자가 시행이 진행되는 동안 동일한 위치를 바라보도록 안내하기 위한 목적으로 제시되었다. 이 자극이 사라지고 나서 무선적인 순서로



**Figure 1.** Examples of motion trajectory stimulus. Left image shows a white horizontal line which used as standard stimulus. Central image shows white horizontal line with outward extended Mueller-Lyer stimulus. Right image shows white horizontal line with inward extended Mueller-Lyer stimulus.



**Figure 2.** The procedure of control condition trial in experiment 1.

제시되는 두 운동궤적 자극, 표준자극과 시험자극 위를 운동하는 붉은 점을 관찰하였다(그림 2). 시험자극은 두 시험조건과 통제조건 중 어느 하나가 블록 조건에 따라 무선적으로 제시되었다. 표준자극 위에서 운동하는 자극은 항상 1초 간 운동하였으며, 시험자극 위에서 운동하는 자극은 PSE(주관적 동등점, point of subjective equality) 측정을 위하여 0.5초에서 1.5초 중 어느 한 시간동안 운동하였다. 운동자극은 좌에서 우 방향으로 운동하였다.

**주관적 동등점 측정절차**

시험자극의 착시 조건에 따른 운동자극의 지각된 제시시간을 측정하기 위하여 표준자극과 시험자극의 주관적 동등점을  $\psi$  측정법(psy method)으로 측정하였다. 이 측정법은 베이지 추론(bayesian method)을 사용하여 실시간 함수 파라미터 적합 탐색(running-fit)을 수행하는 순응적 방법(adaptive method)이다(Kontsevich & Tyler, 1999). 측정 과정은 사전 분포 구성, 반응 획득, 사후분포 갱신 과정을 반복하도록 구성되어 있다. 사전 분포는 연구자가 설정한 범위를 바탕으로 정신측정 함수(psychometric function)가 가질 수 있는 평균과 오차, 즉 PSE와 기울기 두 축으로 구성된 이차원 확률공간(two dimensional probability space)의 확률 분포로 구성된다. 이 공간에서 정신물리학 함수의 파라미터를 탐색하는 과정은 가장 높은 정보 엔트로피(가장 변화 가능성이 높은 지점)를 가지는 지점의 확률 정보를 획득할 수 있는 자극 강도에 대한 응답을 요청하는 방법으로 수행된다. 이 정보와 사전분포(prior distribution)를 베이지 추론으로 갱신하면 사후분포(posterior distribution)를 얻을 수 있고 이 값을 다시 사전분포로 삼아 시행을 계속 반복할 수 있다. 이 분석방법

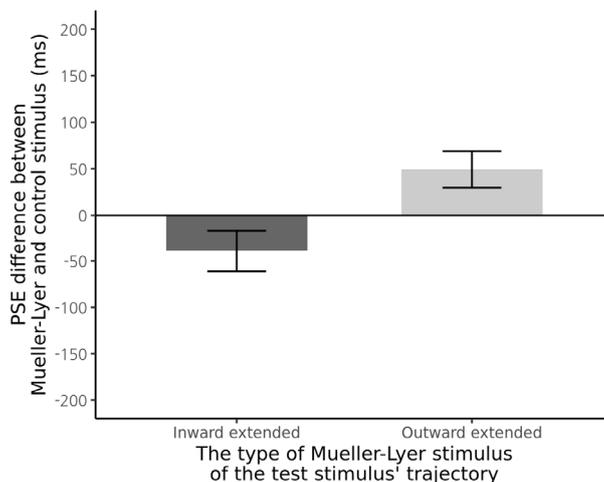
은 상대적으로 적은 시행으로 PSE를 측정할 수 있다는 장점을 가지지만, 참가자가 초기에 자극에 대한 반응을 놓치거나(lapse) 실수하는 경우, 확률공간 내에서 엔트로피가 높은 자극의 강도를 선택하는 과정이 무한히 발산하여 PSE가 수렴되지 않는 문제가 있다(Kontsevich & Tyler, 1999; Prins & Kingdom, 2018). 이 측정방법을 사용하여 PSE를 측정하는 절차는 Matlab용 정신물리학 측정용 함수 모음인 Palamedes toolbox를 사용하여 수행되었다(Prins & Kingdom, 2018).

**설계**

각 참가자는 모든 시험자극 조건에 대한 과제를 수행하였다. 각 시험자극 조건 하나를 한 블록으로 삼아 각 블록 당 100 시행의 측정을 수행하였다. 시험자극이 세 조건이었기 때문에 각 참가자는 총 300시행의 측정을 수행하였다. 참가자들은 세 블록의 시험자극 조건을 무선적인 순서로 수행하였으며, 블록 수행 후 최소 3분 동안 휴식했다. 참가자들에게 이 휴식시간을 연장할 수 있다고 고지하였으나 휴식시간 연장을 요청한 참가자는 없었다.

**결과 및 논의**

두 개의 운동하는 시각자극인 표준자극과 시험자극의 망막상 운동궤적이 일치하도록 통제하고 뮐러-라이어 착시를 사용하여 지각된 운동궤적을 조작하였을 때 지각된 제시시간은 뮐러-라이어 자극의 착시 유도자극 방향에 따라 달라졌다(그림 3). 이 실험은 표준자극이 항상 일정한 시간으로 제시되었고 시험자극의 운동시간이 달라졌기 때문에, 측정된 시간을 그대로 도시하면 참가자들이 추정한 시간지각의 방향과



**Figure 3.** Measured PSE of duration difference from control by the type of Mueller-Lyer stimulus of test stimulus. The length of retinal motion trajectory was controlled over all stimuli conditions.

그래프의 방향이 역전된다. 따라서 그림 3에 제시된 값은 시험자극의 통제조건(표준자극과 시험자극이 동일한 조건) 값에서 시험조건(뮐러-라이어 자극) 값을 차감하여 도기한 것이다. 측정결과는 뮐러-라이어 착시로 지각된 운동궤적을 조작하여 표준자극 대비 시험자극의 운동궤적이 길게 지각된 조건에서 지각된 제시시간이 과대추정(overestimate) 되고, 표준자극 대비 시험자극의 운동궤적이 짧게 지각된 조건에서 지각된 제시시간이 과소추정(underestimate) 된다는 것을 보여준다. 이 경향성은 시험자극의 착시 유도자극 방향에 따른 지각된 제시시간에 대한 반복측정 변량분석으로 분석한 결과 통계적으로 유의미하게 나타났다( $F(2, 18) = 8.15, p < 0.001$ ). 그러나 bonferroni 교정을 사용한 t검정으로 내측 유도자극과 통제조건 및 외측 유도자극과 통제조건 사이의 차이를 분석한 결과 통계적으로 유의미하게 나타나지 않았다( $ps = ns$ ). 다음 실험은 연구가설 검증을 위하여 표준자극과 시험자극의 지각된 운동궤적을 통제된 상태로 망막 상 운동궤적을 조작하고, 지각된 제시시간을 측정하여 이 실험의 결과와 비교하기 위하여 수행되었다.

## 실험 2: 운동하는 시각자극의 지각된 운동궤적 길이가 통제되었을 때 망막 상 운동궤적 길이가 시간지각에 미치는 영향

본 실험은 시간항등성이 별개의 기제가 아니라 시간지각 측정에 사용된 두 자극의 지각된 공간특성(운동궤적)이 일치하는 현상, 즉 크기항등성의 결과로 나타난 현상일 것이라는 가설을 검증하기 위하여 설계되었다. 구체적으로, 참가자들이 시간지각을 측정하기 위하여 비교하는 두 운동자극인 표준자극과 시험자극의 운동궤적 길이를 동일하게 지각하는 것이 운동자극의 지각된 제시시간을 동일하게 만드는지 여부를 검증하였다. 만약 두 운동자극의 지각된 운동궤적이 일치함에도 불구하고 시간항등성이 발견되지 않는다면, 시간항등성이 두 운동자극의 지각된 특성 일치에 의하여 유발될 것이라는 대안적 가설에 대한 한 가지 반례가 될 수 있을 것이다.

### 참가자

광운대학교 소속 13명의 참가자가 금전적 보상을 받고 실험에 자발적으로 참가하였다. 모든 참가자는 정상 또는 교정 후 정상 시력이었다. 실험자는 참가자들이 실험하는 모습을 단방향 투과성 거울을 통하여 실험부스 옆에서 관찰하였으며, 모든 참가자들은 그 사실을 사전에 고지받았다. 뮐러-라

이어 착시 크기 측정 과제 결과를 바탕으로 이후 분석과정에서 참가자 중 한 명의 자료를 제외시켰다. 이 참가자는 뮐러-라이어 착시 크기 측정 과제에서 길이착시 방향을 거꾸로 보고하였는데, 특히 외측 유도자극 조건에서 천정효과를 보였다. 이런 반응 결과는  $\psi$  측정법의 특성 상 참가자의 실수(lapse)나 불성실한 반응 등에 의하여 유발될 수 있다. 착시 크기 측정 결과가 이후 시간측정 과제의 자극으로 사용되기 때문에 착시 측정 결과가 부정확한 경우 시간측정 결과를 신뢰할 수 없게 된다. 따라서 이 참가자의 측정결과는 분석에서 제외되었다.

### 기구

실험 1과 동일한 디스플레이와 동일한 기구를 사용하였다. 자극제시용 프로그램 역시 동일한 도구를 사용하여 작성되었다.

### 실험자극

본 실험은 서로 다른 자극을 사용한 두 가지 과제로 진행되었다.

**뮐러-라이어 착시 측정 과제.** 본 실험은 실험 1의 운동자극 지속시간 측정 과제에 추가로 뮐러-라이어 착시 측정 과제를 포함하였다. 이 과제는 각 참가자가 지각하는 망막 상 운동궤적 길이를 표준자극과 모든 시험자극 조건에서 일치시키기 위하여 뮐러-라이어 착시가 유발하는 길이 착시를 각 참가자마다 측정하는 것이었다. 뮐러-라이어 착시 유도자극 방향에 따른 지각된 길이 측정 역시 표준자극과 시험자극의 길이를 비교하는 2IFC 과제로 수행되었다. 이 과제에서 사용된 표준자극은 8 시각도 길이의 선분이었고, 시험자극은 다양한 길이를 가진(3 - 14도, 8 +- 5) 뮐러-라이어 자극이었다. 서로 다른 길이의 망막 상을 유발시키는 표준자극과 시험자극이 동일한 수직 위치에 존재하면 잔상(afterimage)이 과제 수행을 방해할 가능성이 있다고 판단하여, 자극들은 무선적인 순서로 디스플레이의 수직 중심으로부터 각각 1도씩 떨어진 위치 중 어느 하나로 제시되었다. 따라서 매 시행에서 각 자극들은 상하로 2도 간격을 두고 제시되었다.

**운동자극 제시시간 측정 과제.** 운동자극의 제시시간 측정 과제의 순서는 실험 1과 동일하였으나, 시험자극에 가한 조작과 운동자극 및 운동궤적 자극의 위치를 변화시켰다. 운동궤적 자극은 통제조건을 제외하고 뮐러-라이어 착시 측정과제에서 측정된, 각 참가자들이 시험자극과 표준자극을 같은

길이를 지각하도록 만드는 수평선의 길이를 사용하였다. 따라서 각 참가자들에게 제시된 시험자극의 수평 길이는 모두 달랐다. 수직 자극 제시 위치 또한 뮐러-라이어 착시 측정과제와 동일하게 조작하였다. 또한 운동자극도 운동방향도 매 운동자극마다 무선적으로 왼쪽에서 오른쪽으로, 또는 오른쪽에서 왼쪽으로 운동하였다.

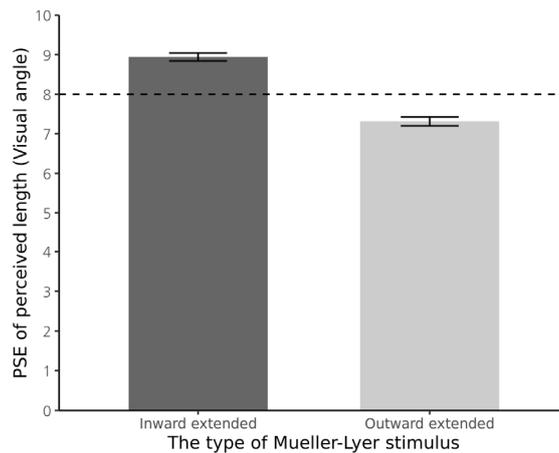
**실험절차**

참가자들은 실험 내용에 대한 전체적인 설명을 모두 들은 다음, 착시크기 측정과제를 수행하고 나서 실험 1과 동일하게 무선적인 순서로 모든 시험자극 조건에서 운동자극의 제시시간 측정 과제를 수행하였다. 착시크기 측정과제는 뮐러-라이어 유도자극의 각 방향마다 50 시행씩 총 100시행을 각각  $\psi$  측정법으로 측정하였다. 이 과정에서 과제를 불성실하게 수행한 참가자들은 실험의 다음 단계에 참여할 수 없었다. 운동자극 제시시간 측정 과제는 실험 1과 동일하게 수행되었다.

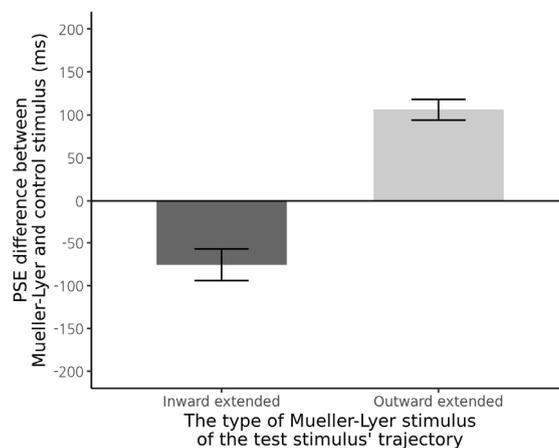
**결과 및 논의**

지각된 운동거리를 통제하기 위한 뮐러-라이어 착시측정 과제가 수행되었다(그림 4). 관찰자들은 시험자극의 뮐러-라이어 착시 유도자극이 내측일 때 평균 8.87 시각도를, 유도자극이 외측일 때 평균 7.24 시각도를 표준자극의 8 시각도 수평선과 동등하게 지각하였다. 이 결과 바탕으로 각 참가자에게 제시한 시험자극의 망막 상 운동궤적을 조작하여 각 참가자가 표준자극과 시험자극의 운동궤적을 모두 동일한 길이로 지각하도록 통제하였다.

표준자극과 시험자극의 지각된 운동궤적을 통제하고 망막 상 운동궤적을 조작하였을 때 지각된 제시시간은 뮐러-라이어 착시 유도자극의 방향에 따라 달라졌으며 그 경향은 실험 1과 동일했다(그림 5). 다시 말하면, 표준자극과 모든 시험자극의 지각된 운동궤적이 동일하게 통제되었음에도 불구하고, 시험자극의 망막 상 길이가 표준자극의 망막 상 길이보다 짧을 때(외측 유도자극) 지각된 시간이 과대추정 되었고 시험



**Figure 4.** Perceived length of Mueller-Lyer stimulus corresponding to the length of standard stimulus.



**Figure 5.** Measured PSE of duration difference from control by the type of Mueller-Lyer stimulus of test stimulus. The length of perceived motion trajectory was controlled over all stimuli conditions.

자극의 망막 상 길이가 표준자극의 망막 상 길이보다 길 때 (내측 유도자극) 지각된 시간이 과소추정 되었다. 이 경향성을 착시 유도자극 방향 조건에 따른 지각된 시간에 대한 반복측정 변량분석으로 분석한 결과 통계적으로 유의미하게 나타났다( $F(2, 22) = 59.42, p < 0.001$ ). 또한 외측 유도자극 조건과 통제조건 사이의 차이와 내측 유도자극 조건과 통제조건 사이의 차이를 bonferroni 교정을 사용한 t 검정으로 분석하였다. 그 결과 외측 유도자극 조건과 통제조건 사이의 차이( $t(11) = 4.06, p < .01$ )와 내측 유도자극 조건과 통제조건 사이의 차이( $t(11) = 8.97, p < .001$ )가 모두 통계적으로 유의미하였다.

본 실험의 결과는 두 운동자극의 지각된 운동궤적이 일치해도 운동자극의 지각된 제시시간 왜곡이 관찰되며, 그 경향이 표준자극과 시험자극의 망막 상 운동궤적을 통제하고 지각된 운동궤적을 조작한 경우(실험 1)와 동일하다는 것을 보여준다. 실험 1, 2의 결과를 종합하면 운동자극의 시간지각을 왜곡시키는 원인 중 하나가 비교자극과 시험자극의 망막 상 운동궤적 차이와 지각된 운동궤적 차이일 가능성이 있음을 시사한다.

### 종합논의

본 연구는 시간지각을 측정하기 위하여 사용하는 두 운동자극의 지각된 운동궤적 일치가 시간지각 왜곡을 상쇄시킬 것이라는 주장, 다시 말하면 크기항등성의 결과가 시간항등성일 것이라는 가능성을 검증하였다. 실험 1은 뮐러-라이어 착시를 사용하여 망막을 가로질러 운동하는 병진운동 하는 두 운동자극, 표준자극과 시험자극의 망막 상 운동궤적을 통제하고 시험자극의 수준에 따라 지각된 운동궤적을 조작하였을 때 운동자극의 지각된 제시시간을 측정하였다. 그 결과 외측 유도자극 조건(표준자극과 망막 상 운동궤적이 같고 지각된 운동궤적이 긴 조건)에서 지각된 제시시간이 과대추정 되었고 내측 유도자극 조건(표준자극과 망막 상 운동궤적이 같고 지각된 운동궤적이 짧은 조건)에서 지각된 제시시간이 과소추정 되었다. 실험 2는 실험 1과 반대로 뮐러 라이어 착시를 사용하여 표준자극과 비교자극의 지각된 운동궤적을 통제하고 시험자극의 수준에 따라 망막 상 운동궤적을 서로 다르게 조작하였을 때 운동자극의 지각된 제시시간을 측정하였다. 그 결과 실험 2에서 측정된 지각된 제시시간은 실험 1의 결과와 동일한 경향을 보였다. 즉 외측 유도자극 조건에서 지각된 시간이 과대추정 되었으며 내측 유도자극 조건에서 지각된 시간이 과소추정 되는 것을 관찰하였다.

### 시간항등성과 크기항등성 사이의 관계

본 연구의 발견은 시간측정을 위한 운동자극 한 쌍의 운동궤적이 동일하게 지각될 때 지각된 제시시간 왜곡을 관찰한 것이다. 시간측정을 위한 운동자극 한 쌍의 지각된 운동궤적이 동일함에도 불구하고 시간항등성이 관찰되지 않았다는 것은 Lisi 등(2016)이 발견한 시간항등성이 크기항등성의 결과에 의하여 유발된 현상이 아닐 가능성을 지지하는 증거이다. 물론 이 효과가 관찰된 실험 2의 운동자극 공간특성 조작은 시간항등성을 관찰한 Lisi 등(2016)의 깊이-크기 대응 조건의 운동자극의 공간특성 조작과 완전히 일치하지는 않는다. Lisi 등은 제시시간 지각을 비교하기 위한 두 운동자극의 망막 상 크기와 망막 상 운동궤적을 조작하고 지각된 크기와 지각된 운동궤적을 깊이단서로 일치시켰으며, 본 연구의 실험 2는 뮐러-라이어 착시의 크기를 측정하여 표준자극과 시험자극의 지각된 운동궤적이 일치하도록 망막 상 운동궤적을 조작하였다. 따라서 두 실험자극 모두 운동시간 측정을 위한 비교자극의 망막 상 운동궤적 길이는 서로 다르고 지각된 운동궤적 길이가 일치하도록 조작되었다. 또한 운동자극이 동일한 제시시간을 가진다면 망막 상 운동궤적은 속도와 상호 교환하여 동등한 것으로 간주할 수 있기 때문에(Lisi et al., 2016) 본 연구에서 운동궤적 길이를 조작한 방법은 본질적으로 Lisi 등이 조작한 방법과 일치한다. 따라서 본 연구의 발견은 Lisi 등이 주장한 운동자극의 시간지각 과정이 운동자극의 제시시간, 공간특성, 깊이단서와 같은 시공간 단서의 결합에 의하여 처리될 것이라는 주장을 지지하는 증거이다.

시간에 대한 단서를 포함하지 않은 망막 상 및 망막 외 공간특성들이 시간지각 과정에 관여할 것이라는 주장을 지지하는 이론적 틀 중 하나로 시간 분산처리 모형(distributed time representation model)과 이 모형을 지지하는 연구들이 있다. 이 모형은 시간지각이 다양한 지각 및 인지적 정보처리 과정에서 개별적으로 일어나며, 분산 표상된 시간 정보가 시간중추(temporal hub)에 전달되어 인간이 지각하는 단일한 시간 경험이 형성된다고 주장한다(Buonomano, 2000; Durstewitz, 2003; Matell, & Meck, 2004; Haß, Blaschke, Rammsayer, & Herrmann, 2008; Hass & Durstewitz, 2014). 또한 시간지각이 개별적 영역의 정보처리 과정에서 부수적으로 처리된다는 증거(Romo, Hernandez, Zainos, 2004; Hass & Durstewitz, 2016; Goel & Buonomano, 2014)도 존재한다. 이 연구들은 망막 상 운동궤적이나 깊이 단서와 같은 공간단서들이 시간지각에 영향을 미칠 것이라는 가설을 부분적으로 지지한다.

## 운동자극의 공간특성과 시간지각의 관계에 대한 적응적 관점

적응적 관점에서 보았을 때 시공간에 대한 지각은 중요하다. 이런 관점에서 운동자극의 공간특성이 시간지각에 미치는 현상이 단순히 지각적 오류가 아니라 적응적 가치를 가질 가능성도 있다. 지각경험, 지각형성 과정, 진화과정을 연결한 경험적 순위 이론은 지각경험이 망막 상을 유발시킬 가능성이 높은 환경 속 물체와 상호작용하는 과정에서 형성된 것이라고 주장한다(Purves, Wojtach, & Lotto, 2011; Purves, Morgenstern, & Wojtach 2015). 이 이론에 따르면 적응적 관점에서 운동자극의 공간특성이 시간지각에 미치는 영향을 설명할 수 있다. 예를 들면, 관찰자가 서로 다른 두 거리에서 병진운동하는 두 물체와 상호작용한다고 가정해 보자. 관찰자가 환경 속 물체에 접근하는 행동은 시간이 걸리며, 그 시간은 관찰자로부터 대상까지 거리가 멀수록 증가한다. 따라서 상대적으로 가까운 대상과 성공적으로 상호작용하는데 1초가 걸렸다면 더 먼 거리의 대상과 상호작용할 때는 그보다 더 빠르게 행동해야 한다. 본 연구에서 발견한 운동자극의 시간지각 왜곡 현상에 따르면 표준자극 대비 시험자극의 운동궤적이 망막 상보다 더 길게 지각되는 경우(더 큰 깊이를 가진 환경 속 물체에 의한 망막 상일 가능성이 높을 때) 지각된 시간을 과대추정한다. 따라서 가까운 대상과 같은 운동거리를 가지고 더 큰 깊이를 가지는 운동자극에 대하여 지각적으로 동일한 시간에 상호작용을 시도하면, 환경에서 더 큰 깊이를 가지는 물체와 상호작용을 시도하는 실제 시간은 가까운 물체 대비 더 빨라질 것이다. 즉 운동자극의 공간특성이 지각된 지속시간에 미치는 영향은 적응적 관점에서 유용할 가능성이 있다.

본 연구는 지각된 공간특성이 일치하는 두 자극의 지각된 운동궤적이 일치함에도 불구하고 두 자극의 지각된 제시시간이 일치하지 않는 사례를 관찰하여, 크기항등성의 결과가 시간항등성일 것이라는 주장의 한 가지 반례를 발견하였다. 그러나 이 발견만으로 시간항등성과 크기항등성 사이의 관계를 전부 설명할 수는 없다. 예를 들면, Lisi 등(2016)은 깊이 단서를 사용하여 시간 측정자극 두 개의 지각된 공간특성을 일치시켰다. 그러나 본 연구에서 사용된 자극은 깊이단서나 관찰거리 조작은 포함하지 않고 있다. 관찰거리 조작을 포함한 다른 지속시간 연구로 Lee, Kim, Li (2018)의 정지된 자극에 대한 지속시간 지각 연구가 있다. Lisi 등의 연구와 Lee 등의 연구는 그림단서와 관찰거리 조작이라는 서로 다른 방식으로 깊이단서를 조작했지만, 공통적으로 지각된 크기가

일치할 때 시간항등성이 관찰되며, 지각된 크기가 다를 때 시간지각 왜곡이 관찰된다. 이 연구들의 결과와 본 연구의 결과를 종합하면 크기항등성의 결과에 의하여 시간항등성이 나타나는 것은 아니며, 그보다 시간항등성에 영향을 미치는 요인은 관찰자로부터 표적까지의 거리(egocentric distance)를 반영하는 깊이단서(Lisi et al., 2016)나 관찰거리(Lee et al., 2018)와 같은 변인일 가능성이 있다. 따라서 크기항등성과 시간항등성의 관계나, 깊이단서가 망막 상과 지각된 운동궤적을 변화시킬 때 나타나는 지각된 운동궤적 변화와 지각된 제시시간 변화는 추후 연구를 통하여 밝혀져야 할 것이다.

## References

- Abbe, M. (1936). The spatial effect upon the perception of time. *Japanese Journal of Experimental Psychology*, 3, 1 - 52.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10(4), 433-436.
- Buonomano, D. V. (2000). Decoding temporal information: a model based on short-term synaptic plasticity. *Journal of Neuroscience*, 20(3), 1129-1141.
- Durstewitz, D. (2003). Self-organizing neural integrator predicts interval times through climbing activity. *Journal of Neuroscience*, 23(12), 5342-5353.
- Geisler, W. S. (2011). Contributions of ideal observer theory to vision research. *Vision research*, 51(7), 771-781.
- Goel, A., & Buonomano, D. V. (2014). Timing as an intrinsic property of neural networks: evidence from in vivo and in vitro experiments. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological sciences*, 369(1637), 20120460.
- Gorea, A., & Hau, J. (2013). Time in Perspective. *Psychological science*, 24(8), 1477-1486.
- Gorea, A., & Kim, J. (2015) Time dilates more with apparent than with physical speed. *Journal of Vision*, 15(1):7, 1 - 11.
- Haß, J., Blaschke, S., Rammsayer, T., & Herrmann, J. M. (2008). A neurocomputational model for optimal temporal processing. *Journal of computational neuroscience*, 25(3), 449-464.
- Hass, J., & Durstewitz, D. (2014). Neurocomputational models of time perception. *Advanced Experimental Medicine and Biology*, 298, 49-71.
- Hass, J., & Durstewitz, D. (2016). Time at the center, or time at the side? Assessing current models of time perception. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 238-244.

- Kanai, R., Paffen, C. L. E., Hogendoorn, H., & Verstraten, F. A. J. (2006). Time dilation in dynamic visual display. *Journal of Vision, 6*(12), 8.
- Kaneko, S., & Murakami, I. (2009). Perceived duration of visual motion increases with speed. *Journal of Vision, 9*(7), 14.
- Kleiner, M., Brainard, D., & Pelli, D. (2007). What's new in Psychtoolbox-3? *Perception, 36*(ECP Abstract Suppl), 14.
- Kontsevich, L. L., & Tyler, C. W. (1999). Bayesian adaptive estimation of psychometric slope and threshold. *Vision research, 39*(16), 2729-2737.
- Lee, W.S., Kim, S.W., Li, H.C. O. (2018). Effects of object size and viewing distance on duration perception. *Science of emotion and sensibility, 21*(4), 91-102.
- Lisi, M., & Gorea, A. (2016). Time constancy in human perception. *Journal of Vision, 16*(14), 3.
- Linares, D., & Gorea, A. (2015). Temporal frequency of events rather than speed dilates perceived duration of moving objects. *Scientific reports, 5*, 8825.
- Matell, M. S., & Meck, W. H. (2004). Cortico-striatal circuits and interval timing: coincidence detection of oscillatory processes. *Cognitive brain research, 21*(2), 139-170.
- Pelli, D. G., & Vision, S. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial vision, 10*, 437-442.
- Prins, N & Kingdom, F. A. A. (2018). Applying the Model-Comparison Approach to Test Specific Research Hypotheses in Psychophysical Research Using the Palamedes Toolbox. *Frontiers in Psychology, 9*, 1250.
- Purves, D., Morgenstern, Y., & Wojtach, W. T. (2015). Will understanding vision require a wholly empirical paradigm?. *Frontiers in psychology, 6*, 1072.
- Purves, D., Wojtach, W. T., & Lotto, R. B. (2011). Understanding vision in wholly empirical terms. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108* Suppl 3(Suppl 3), 15588-15595.
- Romo, R., Hernandez, A., & Zainos, A. (2004). Neuronal correlates of a perceptual decision in ventral premotor cortex. *Neuron, 41*(1), 165-173.
- Sperandio, I., & Chouinard, P. A. (2015). The mechanisms of size constancy. *Multisensory research, 28*(3-4), 253-283.

# 시각적 운동자극의 망막 상 운동궤적과 지각된 운동궤적이 운동시간 추정에 미치는 영향

박종진<sup>1</sup>, 이형철<sup>1</sup>, 김신우<sup>1</sup>

<sup>1</sup>광운대학교

1초 내외의 제시시간을 가지는 운동자극의 제시시간 지각이 그 자극의 공간특성에 의하여 왜곡되는 현상은 잘 알려져 있다. 그러나 깊이단서를 사용하여 시간 측정자극 한 쌍의 지각된 공간특성을 일치시키면 시간지각 왜곡이 사라지는데, 이 현상을 시간항등성이라고 부른다. 본 연구는 시간항등성이 크기항등성의 결과로 나타나는 현상이라는 대안적 가설을 검증하는 것이다. 이 연구는 밀러-라이어 착시를 사용하여 표준자극과 시험자극의 망막 상 운동궤적 일치 조건과 지각된 운동궤적 일치 조건에서 운동자극을 제시하고 그 자극의 지각된 제시시간을 측정하였다. 그 결과 지각된 운동궤적이 일치하는 조건과 망막 상 운동궤적이 일치하는 조건에서 모두 표준자극 대비 시험자극의 지각된 운동궤적이 망막 상 운동궤적보다 짧을 경우 지각된 제시시간이 과소추정 되었고 긴 경우 과대추정 되었다. 즉, 시간지각 측정을 위한 두 자극의 지각된 공간특성이 일치해도 시간지각 왜곡이 관찰되는 경우가 있다. 이 발견은 시간항등성이 크기항등성의 결과일 것이라는 대안적 가설에 대한 한 가지 반례이다.

**주제어:** 지속시간 지각, 시간항등성, 크기항등성, 지각된 운동궤적