

운동자극의 망막상 운동거리와 지각된 운동거리가 운동속도 추정에 미치는 영향*

박 종 진 이 형 철[†] 김 신 우

광운대학교 산업심리학과

크기, 속도, 시간 항등성은 이차원 망막상의 오차에도 불구하고 삼차원 공간 속 대상을 일관적으로 지각할 수 있도록 돕는 기제이다. 이 기제들은 공통적인 단서를 바탕으로 동작하며 이는 운동거리, 운동속도, 운동시간의 지각이 공통된 처리 과정을 공유할 가능성을 시사한다. 따라서 시각자극의 공간적 특성이 시간지각을 왜곡시킴에도 불구하고, 환경 속에서 운동하는 물체에서 관찰되는 바와 동일하게 운동속도 지각과 운동시간 지각이 서로 반대되는 경향성을 보일 것이라는 가설을 세울 수 있다. 본 연구는 이 가설을 검증하기 위하여 뮐러-라이어 착시 자극을 사용하여 지각된 속도를 측정하여, 선행연구에서 관찰된 운동자극의 시간지각 결과와 본 연구에서 측정한 속도지각 사이의 관계를 규명하였다. 실험 1은 망막상 운동거리를 동일하게 유지하고 지각된 운동거리를 조작하였고, 실험 2는 망막상 운동거리를 조작하여 지각된 운동거리를 동일하게 유지하였다. 그 결과 이동거리가 실제보다 더 길게 지각되는 외측 유도자극에 비해 이동거리가 더 짧게 지각되는 내측 유도자극의 지각된 속도가 증가했다. 이 결과를 외측 유도자극에서 내측 유도자극보다 지각된 움직임 지속시간이 과대추정되었던 선행연구와 연결지어 정리하자면, 뮐러-라이어 착시에 의하여 조작된 자극의 지각된 운동거리가 일정할 때 지각된 운동시간이 증가하면 지각된 운동속도가 줄어들고, 지각된 운동시간이 줄어들면 지각된 운동속도가 증가한다. 이 관계는 공간단서에 의하여 지각된 시간 및 속도 사이의 관계가 환경 속에서 운동하는 물체가 가지는 속성, 즉 운동거리를 동일하게 유지하였을 때 운동시간이 증가하면 속도가 감소하고 운동시간이 감소하면 속도가 증가하는 관계에 대응함을 시사한다.

주제어 : 속도지각, 환경 속 물체의 운동, 속도지각과 시간지각의 관계, 뮐러-라이어 착시

* 이 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단(NRF-2020S1A5B5A17091257), 그리고 광운대학교 교내 학술연구비(이형철)의 지원을 받아 수행된 연구임.

[†] 교신저자: 이형철, 광운대학교 산업심리학과, 서울시 노원구 광운로20 광운대학교 한울관 628호
연구 분야: 지각심리학
E-mail: hyung@kw.ac.kr

서론

1초 내외로 운동하는 운동자극에 대한 시간 및 속도, 크기 지각이 그 자극의 비시간적 특성, 예를 들면 시간주파수, 망막상 속도, 지각된 속도, 망막상 이동거리 등 다양한 비시간적 특성에 의하여 왜곡되는 현상은 이미 잘 알려져 있다(Abbe, 1935; Holway & Boring, 1941; Kaneko, & Murakami, 2009; Kanai, Paffen, Hogendoorn, & Verstraten, 2006; Tozawa, 2008; Gorea & Hau, 2013; Linares, & Gorea, 2015; Gorea, & Kim, 2015, Lisi and Gorea, 2016). 인간의 시각체계는 크기지각(Holway et al., 1941)이나 속도지각(Tozawa, 2008)을 수행할 때 망막상 단서(retinal cue)만으로 환경 속 물체의 본래 크기나 속도를 판단하기 어렵기 때문에 깊이 단서를 사용하여 크기나 속도를 교정한다. 그러나 크기지각이나 속도지각과 달리 시간지각은 이를 수행하기 위한 최적 정보인 운동 시작과 운동 끝 단서가 망막상에 존재한다. 따라서 시간지각이 이상적 관찰자(ideal observer)처럼 동작한다면, 즉 시간지각 과정에서 시간을 지각하기 위한 정보를 최적 방식으로 처리한다면, 시간지각 왜곡은 나타나지 않아야 한다. 운동 시작 시간 단서와 운동 끝 시간 단서만 있어도 운동 지속시간을 포함한 모든 시간지각이 가능하기 때문이다. 따라서 시간지각 왜곡 현상은 시간지각이 정보처리 관점에서 비효율적인 방식으로 동작함을 시사한다(Geisler, 2011).

시간향등성

시간지각 왜곡 현상은 앞서 언급한 바와 같이 운동자극의 비시간적 특성이 그 자극의 운동시간을 왜곡시키는 현상이다. 그러나 운동시간을 비교하기 위하여 사용하는 두 자극의 지각된 운동거리나 크기 등의 비시간적 특성을 깊이단서로 일치시키면 시간지각 왜곡이 사라지고 시간향등성이 관찰된다(Lisi et al., 2016).

시간향등성에 대한 대안적 설명 중 하나는 깊이단서를 조작하지 않고 지각된 자극 특성, 예를 들면 지각된 운동거리를 일치시키는 것으로 시간향등성이 관찰될 가능성이 있다는 가설이다. 그러나 시간향등성은 지각된 운동거리를 일치시키는 것만으로 관찰되지 않는다. 박종진, 이형철, 김신우(2021)는 깊이단서의 조작 없이 운동자극의 운동거리를 조작하기 위하여 뮐러-라이어 자극을 사용하였다. 그들은 이 자극으로 망막상 운동거리를 일정하게 유지하고 지각된 운동거리를 조작하거나 지각된 운동거리를 일정하게 유지하고 망막상 운동거리를 조작하여 각 조건에서 지각된 운동시간을 측정하였다. 그 결과 두 조건에서 모두 운동거리가 망막상보다 길게 지각되는 외측 유도자극조건에서 시간지각이 과대추정되는 현상이 관찰되었다. 즉 지각된 운동거리가 동일함에도 불구하고 시간향등성이 관찰되지 않았다. 이 결과는 시간향등성에 영향을 미치는 운동자극의 비시간적 특성이 망막상 운동거리와 지각된 운동거리 사이의 차이뿐만 아니라 깊이단서의 유무 역시 중요한 역할을 수행한다는 것을 의미한다(Lisi et al., 2016; 박종진 등, 2021). 시간

향등성이 망막상 크기와 지각된 크기, 그리고 깊이단서와 같이 크기향등성이나 속도향등성 지각에 중요한 역할을 하는 비시간적 자극 특성에 영향 받는다는 것은 시간향등성과 크기향등성, 그리고 속도향등성이 깊은 관계를 가질 것이라는 점을 시사한다(Lisi et al., 2016).

시간 분산처리 이론

이와 같은 지각 현상은 운동거리, 운동속도를 지각하는 시각시스템이 국지적인 단서를 사용하여 환경 속 물체의 운동시간을 추론할 것이라는 시간 분산처리 이론의 예측과 일치하는 결과라고 할 수 있다. 시간 분산처리 모형(distributed time representation model)은 시간에 대한 단서를 포함하지 않는 망막상 및 망막의 공간특성들이 시간지각 과정에 관여할 것이라는 주장을 지지하는 이론적 틀 중 하나다. 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)가 존재한다. 이 연구들은 망막 상 운동거리나 깊이 단서와 같은 공간단서들이 시간지각에 영향을 미칠 것이라는 가설을 부분적으로 지지하며, 운동거리, 운동속도, 운동시간을 지각하는데 사용되는 시각시스템의 기제가 유사할 가능성을 시사한다.

환경 속 물체 운동의 물리적 관계와 지각된 자극 운동의 지각적 관계

앞서 언급한 바와 같이, 시간 분산처리 모형에 따르면 시간지각에 사용되는 단서인 망막상 및 지각된 자극강도와 깊이단서가 시간지각에 미치는 영향이 속도 및 크기지각과 유사한 방식으로 처리될 가능성이 있다. 이 추론에 따르면 지각된 속도, 크기, 시간 사이의 관계가 환경 속 물체가 가지는 속도, 크기, 시간 사이의 관계와 유사할 것이라고 가정할 수 있다. 시지각은 환경 속 대상들과 상호작용하기 위한 기체이며, 따라서 지각적 요소들이 환경 속 물체의 특성과 유사한 방식으로 지각될 가능성이 있기 때문이다.

만약 지각된 시간과 지각된 속도 사이의 관계가 환경 속 물체의 물리적 시간과 물리적 속도의 관계에 대응한다면 운동거리가 동일한 대상에 대하여 지각된 시간의 측정결과와 지각된 속도의 측정결과가 반대 방향의 경향성을 가지는 것을 확인할 수 있어야 한다. 왜냐하면 물리적 환경 속 물체의 경우 운동거리가 동일할 때 운동속도가 빠르면 운동시간이 짧고, 운동속도가 느리면 운동시간이 길기 때문이다. 이 현상이 시지각에 대응된다면 지각된 운동거리가 동일한 자

극의 지각된 시간이 증가하는 자극 조건 하에서 지각된 속도가 줄어들고, 지각된 시간이 줄어드는 자극 조건하에서 지각된 속도가 증가하는 현상을 관찰할 수 있을 것이다.

연구 문제

본 연구는 운동자극의 정보처리 과정에서 망막상 및 지각된 운동거리가 지각된 운동속도에 미치는 영향을 측정하여 지각된 운동시간과 지각된 속도 사이의 관계가 환경 속 물체의 운동시간과 속도 사이의 관계에 대응하는지 검증하는 것을 목표로 하였다. 박종진 등(2021)은 망막상 운동거리와 지각된 운동거리 사이의 차이가 지각된 운동시간에 미치는 영향을 측정하였다. 이 연구에서 관찰된 것은 지각된 운동거리 또는 망막상 운동거리 중 어느 것을 동일하게 유지하더라도 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 긴 외측 유도자극에서 지각된 운동시간이 증가하였고 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 짧은 내측 유도자극에서 지각된 운동시간이 감소하였다는 것이다.

이 연구에서 관찰된 효과를 본 연구의 연구문제와 연관시키면 서로 상반되는 가설 두 개를 세울 수 있다. 첫째, 망막상 운동거리와 지각된 운동거리의 차이가 지각된 운동속도에 단순한 영향을 미칠 것이라는 가설이다. 이 가설은 지각된 운동거리가 착시에 의하여 증가할 때, 지각된 운동시간 또한 증가하므로 속도 = 거리 / 시간의 관계에 따라서 지각된 속도 차이가 관찰되지 않을 것임을 예측한다. 둘째, 망막상 운동거리와 지각된 운동거리 사이의 차이가 지각된 운동속도에 미치는 영향은 환경 속 물체의 운동에 대응하는 방향으로 동작할 것이라는 가설이다. 이 가설에 따르면 망막상 운동거리 및 지각된 운동거리가 속도지각에 미치는 영향은 시간지각에 미치는 영향과 반대 방향을 보일 것이라고 예측할 수 있다. 즉, 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 더 긴 외측 유도자극 조건이 지각된 운동속도를 축소시킬 것이며, 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 더 짧은 내측 유도자극 조건이 지각된 운동속도를 확장시킬 것이다. 또한 이 가설은 망막상 운동거리가 일치하는 조건에서 간접적으로, 지각된 운동거리가 일치하는 조건에서 직접적으로 검증될 수 있을 것이다.

실험 1은 뮐러-라이어 착시로 망막상 운동거리가 동일하고 지각된 운동거리가 상이하도록 조작된 상황에서 지각된 운동속도를 추정하였다. 이 실험의 목적은 지각된 운동시간과 운동속도 사이의 관계가 물리적 환경 속 물체의 운동시간과 운동속도의 관계와 동일한 경향성을 가지는지 검증하는 것이다.

실험2는 뮐러-라이어 착시를 사용하여 망막 상 운동거리를 조작하여 지각된 운동거리를 동일하게 유지하였을 때 운동자극의 지각된 속도를 측정하였다. 이 실험은 선행연구의 실험 2에서 확인된 망막상 및 지각된 운동거리와 지각된 시간 사이의 관계와 망막상 및 지각된 운동거리와 지각된 속도의 사이의 관계를 직접 비교하기 위하여 수행되었다.

실험 1. 운동하는 시각자극의 망막 상 운동거리를 동일하게 유지하였을 때 지각된 운동거리 조작이 운동속도 지각에 미치는 효과

이 실험의 목적은 Lisi 등(2016)의 연구와 박종진 등(2021)의 연구에서 관찰된 망막 상 운동거리와 지각된 운동거리 차이가 지각된 운동속도에 미치는 효과를 측정하여 앞선 연구에서 확인된 지각된 운동시간이 지각된 운동속도와 어떤 관계를 가지는지 규명하고, 그 관계가 환경 속 물체의 물리적 특성 사이의 관계에 대응하는지 검증하는 것이다.

방 법

참가자

참가자 10명이 금전적 보상을 받고 실험에 참가하였다. 모든 참가자는 정상 및 교정 후 정상 시력을 가졌다. 실험자는 참가자들이 실험을 진행하는 과정을 단방향 투과성 유리를 통하여 관찰하였으며, 실험자가 참가자들의 실험 과정을 관찰한다는 것은 실험 전에 고지되었다. 블록 초기에 제시된 자극에 대한 반응에서 실수한 참가자는 해당 블록을 다시 수행하도록 요청받았으나 분석에 포함된 데이터에 반응 실수는 없었다.

기구

자극은 LG사의 24인치 LCD 모니터(1920x1080 해상도, 너비 52 cm, 높이 28.5 cm)를 사용하여 제시되었다. 실험자극은 Mathworks사의 Matlab, 심리학 실험용 프로그램 제작용 함수 모음인 Psychtoolbox(Brainard, 1997; Pelli, 1997; Kleiner, Brainard, Pelli, 2007)와 정신물리학 실험용 함수 모음인 Palamedes toolbox(Prins & Kingdom, 2018)를 사용하여 직접 작성되었다.

실험자극

실험 자극은 회색 바탕에 흰색 선으로 구성되었다(그림 1). 표준자극은 8 시각도의 수평선이었다. 시험자극은 통제자극과 실험자극으로 구성되어 있었다. 통제자극은 표준자극과 동일한 시각도 8도 길이의 수평선이었고, 시험자극 들은 8시각도의 수평선 양 끝에 필러-라이어 착시를 유발시키기 위하여 수평선 양 끝에 2.4도 길이의 유도자극이 포함되어 있었다. 이 유도자극은 착

시조건에 따라 각각 짧게 지각되는 조건인 수평선 끝으로부터 중심을 가리키는 방향(inward, 내측) 또는 길게 지각되는 조건인 수평선 끝으로부터 바깥을 가리키는 방향(outward, 외측)으로 배치되어 있었다. 유도자극의 각도는 수평선으로부터 15도씩 떨어져 서로 30도 각도로 떨어져 있었다. 운동자극은 표준자극 및 시험자극의 수평선 위에서 왼쪽에서 오른쪽으로 운동하였다. 표준자극 위에 제시된 운동자극은 항상 8 deg/sec (1초) 간 운동하였으며, 시험자극 위에 제시된 운동자극은 16 deg/sec에서 5.3 deg/sec의 속도로 운동하였다(운동시간 0.5초 ~ 1.5초). 운동자극은 붉은 원형으로 지름이 시각도 7인 원형이었다.



(그림 1) 운동거리 자극 예시. 좌측부터 순서대로 윌러-라이어 착시의 내측 유도자극, 통제 및 표준자극, 윌러-라이어 착시의 외측 유도자극이다.

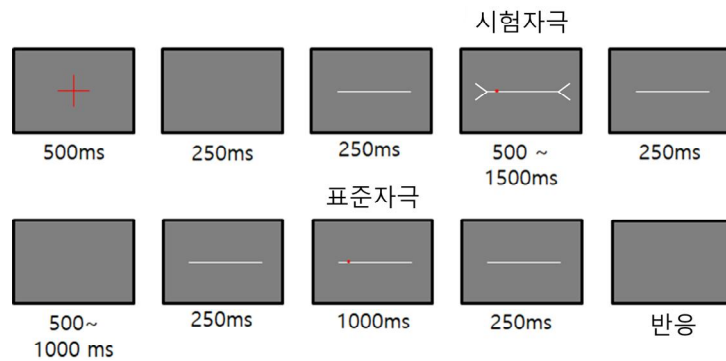
자극 조작

본 연구는 윌러-라이어 자극을 사용하여 시험자극을 조작하였을 때 나타나는 망막상 및 지각된 운동거리 차이를 정의하기 위하여 시험자극과 통제자극의 망막상 운동거리와 지각된 운동거리를 비교하는 방법을 사용하였다. 먼저, 동일한 자극인 표준자극과 통제자극의 망막상 운동거리와 지각된 운동거리의 길이를 서로 동일한 것으로 간주하였다. 본 실험은 망막상 운동거리를 통제하고 지각된 운동거리를 조작하였기 때문에 망막상 운동거리는 통제자극과 시험자극 모두 동일하다. 그러나 외측 유도자극을 가진 시험자극의 지각된 운동거리는 통제자극의 지각된 운동거리보다 더 길게 지각되며, 내측 유도자극을 가진 시험자극의 지각된 운동거리는 통제자극의 지각된 운동거리보다 더 짧게 지각된다. 본 연구에서는 이 조건들을 각각 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 긴 외측 유도자극 조건과 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 짧은 내측 유도자극 조건으로 정의하였다.

절차

실험 참가자들은 실험에 참가하기에 앞서 실험 내용에 대하여 안내받았다. 그 다음 실험 참가자들은 각기 다른 시간 구간(interval)에 걸쳐서 연달아 제시되는 두 운동자극 중 더 빨리 운동하

는 것으로 지각되는 자극의 구간을 선택하는 2IFC(2 interval forced choice) 과제를 수행하도록 요청받았다(그림 2). 각 시행이 시작되면 참가자들은 화면 중앙에 제시되는 십자 모양의 주시점을 바라보았는데, 이는 매 시행마다 동일한 위치를 바라보도록 하기 위한 목적이었다. 그 다음 표준자극과 비교자극이 무선적인 순서로 각각 한 번씩 제시되고 사라졌다. 응답은 키보드로 수행되었으며, 참가자들에게 첫 번째 시간구간의 자극이 더 빠르게 지각되는 경우 키보드의 "z"로, 두 번째 시간구간의 자극이 더 빠르게 지각되는 경우 "/"로 반응하도록 요청하였다. 참가자들이 반응하지 않으면 다음 자극은 제시되지 않았다.



(그림 2) 윌러-라이어 착시 외측 유도자극 조건의 시행 예시.

주관적 동등점(Point of Subjective equality, PSE) 측정

PSE는 베이지 추론(bayesian method)을 사용하여 실시간 함수 파라미터 적합 탐색(running-fit)을 수행하는 순응적 방법(adaptive method)인 싸이 측정법(psy method)으로 측정되었다(Kontsevich & Tyler, 1999). 이 분석방법은 상대적으로 적은 시행으로 PSE를 측정할 수 있지만, 참가자가 초기에 자극에 대한 반응을 놓치거나(lapse) 실수(miss)하면 확률공간 내에서 엔트로피가 높은 자극의 강도를 선택하는 과정이 무한히 발산하여 PSE가 수렴되지 않는 문제가 있다(Kontsevich et al., 1999; Prins & Kingdom, 2018). 측정 수행은 Matlab용 정신물리학 측정용 함수 모음인 Palamedes toolbox에 구현된 함수를 사용하여 수행되었다(Prins et al., 2018)

설계

실험은 세 비교자극인 두 시험자극과 통제자극을 한 쌍으로 각각 한 블록에 할당하여 통제 자극-표준 자극, 내측 유도자극-표준 자극, 외측 유도자극-표준 자극의 세 블록으로 나뉘어 수행되었다. 각 블록은 참가자마다 무선적인 순서로 진행되었으며, 블록당 시행은 100회로 한 참가

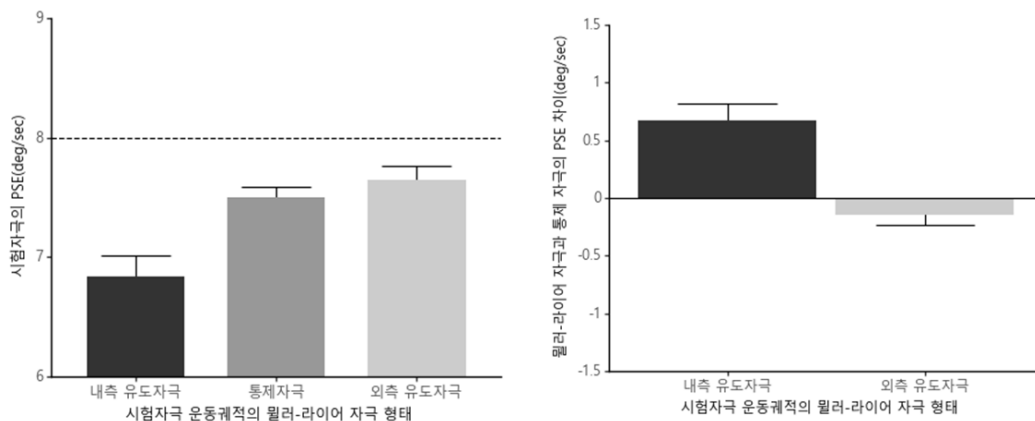
자 당 총 300시행이 수행되었다. 각 블록 사이에 3분의 휴식시간이 주어졌다.

결 과

망막 상 운동거리가 동일하고 지각된 운동거리가 다를 때 수평선 위를 운동하는 자극에 대한 지각된 속도의 PSE와 지각된 속도의 PSE에서 통제자극 PSE를 빼 것을 그림 3에 제시하였다. 본 실험에서 사용한 운동거리 조작 방법은 윌러-라이어 자극의 유도자극을 사용하여 망막상 운동거리를 동일하게 유지하면서 지각된 운동거리를 길게 또는 짧게 조작하는 방법을 사용하였다.

관찰자들은 외측 유도자극 조건보다 내측 유도자극조건에서 운동자극의 속도를 더 빠르게 추정하였다. 이 경향성을 착시 유도자극 방향 조건에 따른 지각된 속도에 대한 반복측정 변량분석으로 분석한 결과 통계적으로 유의미하게 나타났다($F(2, 18) = 11.85, p < 0.05, \eta^2 = 0.40$). 또한 Bonferroni 교정을 사용한 사후검정을 수행한 결과 내측 유도자극 조건과 통제조건 및 외측 유도자극 조건과 내측 유도자극 조건의 차이는 통계적으로 유의미하게 나타났으나(내측 유도자극 조건과 통제조건: $T(9) = -3.64, p < .05$, 내측 유도자극 조건과 외측 유도자극 조건 : $T(9) = -3.44, p < .05$), 통제조건과 외측 유도자극 조건 사이의 차이는 그렇지 않았다.($T(9) = -1.61, p = n.s.$).

본 실험에서 관찰된 바에 따르면, 외측 유도자극 조건보다 내측 유도자극 조건의 운동속도가 더 빠르게 추정되었다. 박종진 등(2021)의 연구에 의하면 외측 유도자극 조건에서 운동자극의 운동시간이 더 길게 지각되며, 내측 유도자극 조건에서 운동시간이 더 짧게 지각된다. 이 연구의



(그림 3) 실험 1 결과. 좌측은 시험자극의 PSE이며, 우측은 측정된 윌러-라이어 자극의 지각된 속도의 PSE에서 측정된 통제자극 조건의 지각된 속도의 PSE를 차감한 PSE 차이이다. 망막상 운동거리는 모두 동일하게 유지되었다. 오차막대는 표준오차이다.

결과와 본 실험의 결과를 종합하면 앞서 언급한 두 번째 가설, 즉 망막상 운동거리와 지각된 운동거리 사이의 차이가 지각된 운동속도에 미치는 영향은 환경 속 물체의 운동을 정확하게 지각하는 것을 돕는 방향으로 동작할 것이라는 가설을 부분적으로 지지하는 결과라고 할 수 있다.

실험 2에서는 본 실험의 결과를 바탕으로 두 번째 가설을 지지하는 좀 더 직접적인 증거를 관찰하고자 하였다. 즉, 지각된 운동거리를 동일하게 유지한 상태에서 지각된 속도를 측정한 경우에도 본 실험에서 관찰한 경향성, 즉 외측 유도자극 조건보다 내측 유도자극 조건에서 지각된 속도가 빨라지는 경향성이 관찰할 수 있는지 확인하는 것이다.

실험 2. 운동하는 시각자극의 지각된 운동거리가 동일하게 유지되었을 때 망막상 운동거리 조작이 운동속도 지각에 미치는 효과

본 실험의 목적은 실험 1에서 관찰된 효과가 지각된 운동거리가 동일하게 유지된 자극에서도 반복적으로 관찰되는지 확인하여 환경 속 물체의 거리, 시간 및 속도의 관계가 실험 1과 동일하게 반복되는지 여부를 검증하는 것이다.

방 법

참가자

참가자 13명이 금전적 보상을 받고 실험에 참가하였다. 모든 참가자는 정상 및 교정 후 정상 시력을 가졌다. 실험자는 참가자들이 실험을 진행하는 과정을 단방향 투과성 유리를 통하여 관찰하였다. 실험자가 참가자들의 실험 과정을 관찰한다는 것은 실험 전에 고지되었다. 블록 초기에 제시된 자극에 대한 반응에서 실수한 참가자는 해당 블록을 다시 수행하도록 요청받았으나 분석에 포함한 데이터에는 반응 실수가 없었다. 참가자 중 4명의 자료는 불성실한 실험 참가 때문에 분석에 사용되지 않았다. 시험 데이터에 포함되지 못한 참가자들은 과제를 끝까지 수행하지 않았거나, 과제 수행 중 졸았거나, 한 개의 버튼만으로 응답하는 방법으로 실험 과제를 불성실하게 수행하였다.

기구

실험 1과 동일한 실험장비 및 자극 제작 방법을 사용하였다.

실험자극

실험 자극은 실험 1과 동일하게 회색 바탕에 흰색 선으로 구성되어 있었다. 표준자극은 8 시각도의 수평선이었다. 시험자극은 통제자극과 실험자극으로 구성되어 있었다. 통제자극은 표준자극과 동일한 시각도 8도 길이의 수평선이었고, 시험자극 둘은 수평선 양 끝에 뿔라-라이어 착시를 유발시키기 위하여 수평선 양 끝에 2.4도 길이의 연장선이 포함되어 있었다. 이 연장선은 실험 1과 동일하게 착시조건에 따라 각각 짧게 지각되는 조건인 수평선으로부터 중심을 가리키는 방향 또는 길게 지각되는 조건인 바깥을 가리키는 방향으로 배치되어 있었다. 연장선은 수평선으로부터 15도씩 떨어져 서로 30도 각도로 떨어져 있었다. 자극의 수평선 길이는 8 시각도를 가지는 수평선과 동일하게 지각되도록 조작되었다.

실험에서 사용된 착시 자극의 지각된 길이는 각 참가자에게 각 조건별로 50회씩 내측 유도자극, 표준자극, 외측 유도자극의 지각된 길이를 측정하는 방법으로 측정되었다. 외측 유도자극의 지각된 길이는 평균 9.71(표준편차: 0.69) 시각도였으며, 표준자극의 지각된 길이는 8.0(표준편차: 0.14) 시각도, 내측 유도자극 조건의 지각된 길이는 평균 7.21(표준편차: 0.37) 시각도였다. 모든 참가자의 지각된 운동거리는 그 참가자의 측정된 착시 크기를 사용하여 제시되었다.

운동자극은 표준자극 및 시험자극의 수평선 위에서 무선적인 방향으로 운동하였다. 실험 1과 다르게 실험 2에서는 시험자극의 속도를 고정시키고 표준자극의 속도를 변화시켰다. 시험자극 위에 제시된 운동자극은 항상 8 deg/sec(1초)의 속도로 운동하였으며, 표준자극 위에 제시된 운동자극은 최대 17.74 deg/sec에서 최소 4.83 deg/sec의 속도로 운동하였다(운동시간 0.5초 ~ 1.5초). 운동자극은 붉은 원형으로 지름이 시각도 7인 원형이었다.

자극 조작

실험 2의 실험 자극도 실험 1과 동일한 뿔라-라이어 자극이다. 뿔라-라이어 자극의 유도자극 방향과 지각된 망막상 및 지각된 운동거리 사이의 관계는 일정하므로, 지각된 운동거리를 통제 한 실험 2도 실험 1과 동일하게 자극 조건을 정의할 수 있다. 즉, 운동거리 조건은 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 외측 유도자극 조건과 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 짧은 내측 유도자극 조건을 사용하였다.

절차

실험 참가자들은 실험에 참가하기에 앞서 실험 내용에 대하여 안내받았다. 그 다음 실험 참가자들은 연달아 제시되는 두 운동자극 중 더 빨리 운동하는 것으로 지각되는 자극을 선택하는

2IFC 과제를 수행하도록 요청받았다. 각 시행이 시작되면 참가자들은 화면 중앙에 제시되는 십자 모양의 주시점을 바라보았는데, 이는 매 시행마다 동일한 위치를 바라보도록 하기 위한 목적이었다. 그 다음 표준자극과 비교자극이 무선적인 순서로 각각 한 번씩 제시되고 사라졌다. 응답은 키보드로 수행되었으며, 참가자들에게 첫 번째 자극이 더 빠르게 지각되는 경우 키보드의 "z"로, 두 번째 자극이 더 빠르게 지각되는 경우 "/"로 반응하도록 요청하였다. 참가자들이 반응하지 않으면 다음 자극은 제시되지 않았다.

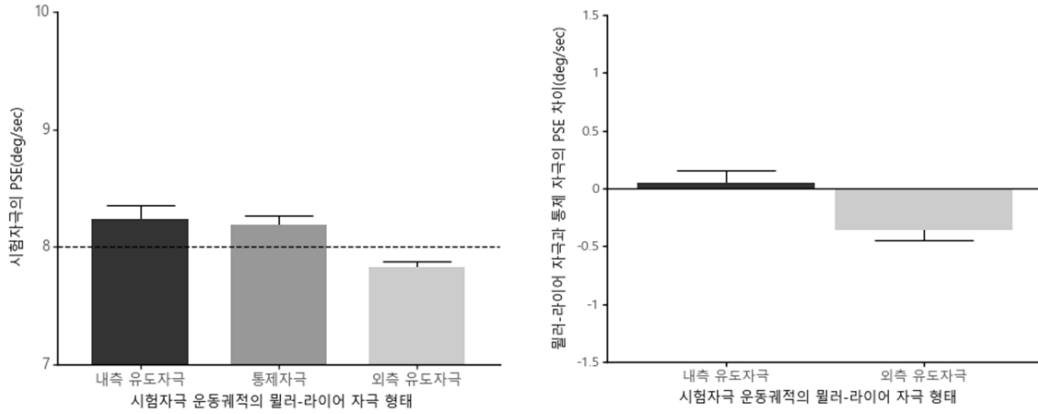
설계

실험은 두 가지 단계로 진행되었다. 첫 번째 단계에서 참가자들은 필러-라이어 착시의 외측 유도자극, 표준자극, 내측 유도자극 조건의 지각된 착시 크기 측정 과제를 수행하였다. 이 과제는 각 조건 당 50시행을 한 블록으로 하여, 각 참가자마다 총 150시행이 수행되었다. 두 번째 단계에서 참가자들은 본 실험을 진행하였다. 이 단계는 실험 조건에 따라 외측 유도자극-표준자극, 통제 자극-표준 자극, 내측 유도자극-표준 자극의 총 세 블록이 무선적인 순서로 수행되었다. 블록 당 시행은 50회였으며 따라서 참가자 당 총 150시행이 수행되었다. 결과적으로 모든 참가자는 총 300시행을 수행하였다. 각 블록 사이에 3분의 휴식시간이 주어졌다.

결 과

망막상 운동거리를 조작하여 필러-라이어 착시를 가지는 자극의 지각된 운동거리를 동일하게 유지하였을 때 수평선 위를 운동하는 자극의 지각된 속도에 대한 PSE에서 통제자극의 PSE를 빼 값을 그림 4에 제시하였다. 본 실험은 실험 1과 다르게 PSE를 측정할 때 시험자극의 길이 대신 표준 자극의 길이를 조작하였기 때문에 그림 4의 좌측 그래프는 그림 3의 좌측 그래프와 반대 경향성을 보이지만 동일한 경향성을 가지는 것으로 해석할 수 있다.

참가자들은 외측 유도자극 조건보다 내측 유도자극 조건에서 운동자극의 속도를 더 빠르게 추정하였다. 이 경향성을 착시 유도자극 방향 조건에 따른 지각된 속도에 대한 반복측정 변량분석으로 분석한 결과 통계적으로 유의미하게 나타났다($F(2, 16) = 7.62, p < 0.005, \eta^2 = 0.34$). 또한 Bonferroni 교정을 사용한 사후검정을 수행한 결과 외측 유도자극 조건과 통제자극 조건 및 외측 유도자극 조건과 내측 유도자극 조건의 차이는 통계적으로 유의미하게 나타났으나(외측 유도자극 조건과 통제자극 조건: $T(8) = -3.94, p < .05$, 외측 유도자극 조건과 내측 유도자극 조건: $T(8) = -3.02, p < .05$), 내측 유도자극 조건과 통제조건 사이의 차이는 그렇지 않았다.($T(8) = -0.43, p = n.s.$).



(그림 4) 실험 2 결과. 좌측은 시험자극의 PSE이며, 우측은 측정된 밀러-라이어 자극의 지각된 속도의 PSE에서 측정된 통제자극 조건의 지각된 속도의 PSE를 차감한 PSE 차이이다. 지각된 운동거리는 모두 동일하게 유지되었다. 오차막대는 표준오차이다.

본 실험에서 관찰된 결과와 실험 1의 결과를 함께 종합하면 시간지각을 처리하는 시지각 기체와 운동자극의 속도 지각을 지각하는 기체 사이의 관계가 환경 속 물체의 운동시간 및 속도의 관계에 대응함을 시사한다.

종합논의

본 연구는 환경 속 물체의 물리적 운동의 속성인 거리, 속도, 시간의 관계가 지각 과정에서 처리되는 지각된 운동거리, 지각된 속도, 지각된 운동시간 사이의 관계에 대응하는지 부분적으로 검증하는 것을 목표로 진행되었다. 실험 1은 밀러-라이어 자극을 사용하여 망막상 운동거리를 동일하게 유지하고 지각된 운동거리를 조작하였을 때 운동속도의 변화를 측정하였다. 그 결과 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 더 긴 외측 유도자극 조건보다 망막상 운동거리보다 지각된 운동거리가 짧은 내측 유도자극 조건에서 운동속도를 더 빠르게 지각하는 경향이 있었다. 또한 망막상 운동거리를 조작하고 지각된 운동거리를 동일하게 유지한 실험 2에서도 실험 1의 결과와 일치하는 경향성을 관찰할 수 있었다.

본 연구의 결과를 요약하면 지각된 속도는 운동자극의 망막상 운동거리와 지각된 운동거리 사이의 관계에 영향을 받으며, 지각된 운동시간과 지각된 운동속도는 환경 속에서 운동하는 물체의 물리적 운동시간과 물리적 운동속도의 관계에 대응하는 경향이 있다는 가설을 지지한다. 본 연구의 실험 1, 2에서는 운동하는 자극의 운동속도가 외측 유도자극 조건보다 내측 유도자극 조건에서 더 빠르게 지각되는 현상을 관찰하였다. 이 현상을 박종진 등(2021)의 연구에서 관찰된

시간지각 결과와 관련지으면 지각된 속성과 환경 속 물체의 운동 사이의 관계를 설명할 수 있다. 선행연구에서 관찰된 것은 외측 유도자극 조건에서 지각된 운동시간이 확장되고 내측 유도자극 조건에서 지각된 운동시간이 축소되는 현상이다. 이 현상은 본 연구에서 발견된 속도지각의 경향성과 반대 방향의 경향성을 가진다. 이를 본 연구의 실험 2의 사례로 종합하여 보면 지각된 운동거리가 동일한 상태에서 외측 유도자극 조건에서는 지각된 운동시간이 증가되는 반면에 지각된 운동속도는 감소하고, 내측 유도자극 조건에서는 지각된 운동시간이 감소되지만 지각된 운동속도는 증가된다. 이 현상은 운동하는 환경 속 물체가 가지는 거리, 시간, 속도의 관계에 대응한다. 동일한 거리의 운동거리를 가진 두 환경 속 물체 중 어느 하나가 더 오랜 시간동안 운동한다면 더 느린 속도로 운동하며, 더 짧은 시간동안 운동한다면 더 빠른 속도로 운동하기 때문이다. 즉, 이 연구의 결과는 시간지각 또는 속도지각은 상호 연관성을 가지고 있으며 착시에 의하여 어느 한 요인에 대한 지각이 왜곡되는 경우에도 상호 보상하는 방향으로 일관적인 관계를 가지고 동작함을 시사한다.

본 연구 및 박종진 등(2021)의 연구에서 조작된 독립변인에 대한 속도지각과 시간지각이 반대 방향의 경향성을 보이는 것은 지각된 운동거리가 조작된 실험 1 뿐만 아니라 지각된 운동거리가 동일하게 유지된 실험 2에서도 관찰되었다. 동일한 거리를 운동하는 것으로 지각되는 자극의 지각된 속도가 지각된 운동거리와 무관하게 차이를 보인다는 것은 망막상 및 지각된 운동거리의 차이가 속도지각에 영향을 미쳤다고 추정할 수 있는 단서가 된다. 이 결과는 박종진 등(2021)의 연구에서 관찰된 운동거리가 시간지각에 미치는 결과와 유사하게 해석될 수 있으며, 운동하는 물체의 시간 및 속도지각이 서로 밀접한 연관을 가지고 있을 가능성을 시사한다. 이는 시간 분산처리 이론에서 주장하는 국지적 시간지각을 지지하는 증거라고 할 수 있다(Buonomano, 2000).

앞서 언급한 운동자극의 지각된 운동시간과 지각된 속도는 환경 속 물체의 운동시간 및 속도의 관계의 경향성에 대응하는 현상은 환경 속 물체와 인간이 상호작용할 때 처리되는 크기, 속도, 시간 지각이 환경 속 물체의 특성과 맞물린다는 것을 의미한다. 이는 크기, 속도, 시간 항등성 처리 과정이 동일한 처리 과정을 바탕으로 서로 다른 지각을 형성할 가능성이 있으나 이를 밝히는 것은 별개의 연구를 필요로 할 것이다. 또한 이 연구의 결과는 다른 요인들, 예를 들면 운동속도와 운동시간, 그리고 양안단서 등의 깊이단서를 조작하였을 때 관찰되는 지각적 현상이 환경 속 물체의 물리적 현상에 대응하는지 여부를 연구하는 새로운 연구과제와 연결될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 박종진, 이형철, 김신우 (2021). 시각적 운동자극의 망막 상 운동궤적과 지각된 운동궤적이 운동 시간 추정에 미치는 영향. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 33(3), 191-200.
- 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.
- 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.
- Holway, A. H., & Boring, E. G. (1941). Determinants of apparent visual size with distance variant. *The American journal of psychology*, 54(1), 21-37.
- 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(ECVP Abstract Suppl), 14.
- Kontsevich, L. L., & Tyler, C. W. (1999). Bayesian adaptive estimation of psychometric slope and threshold. *Vision research*, 39(16), 2729-2737.

- Linares, D., & Gorea, A. (2015). Temporal frequency of events rather than speed dilates perceived duration of moving objects. *Scientific reports*, 5, 8825.
- Lisi, M., & Gorea, A. (2016). Time constancy in human perception. *Journal of Vision*, 16(14), 3.
- 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.
- Romo, R., Hernandez, A., & Zainos, A. (2004). Neuronal correlates of a perceptual decision in ventral premotor cortex. *Neuron*, 41(1), 165-173.
- Tozawa, J. (2008). Speed constancy and the perception of distance. *Perception*, 37(1), 3-21.

1차 원고 접수: 2023. 03. 15
1차 심사 완료: 2023. 05. 03
2차 원고 접수: 2023. 05. 29
2차 심사 완료: 2023. 06. 27
3차 원고 접수: 2023. 07. 02
3차 심사 완료: 2023. 07. 06
최종 게재 확정: 2023. 07. 10

(Abstract)

The Effect of Retinal and Perceived Motion Trajectory of Visual Motion Stimulus on Estimated Speed of Motion

Park Jong-Jin Hyng-Chul O. Li ShinWoo Kim

Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

Size, velocity, and time equivalence are mechanisms that allow us to perceive objects in three-dimensional space consistently, despite errors on the two-dimensional retinal image. These mechanisms work on common cues, suggesting that the perception of motion distance, motion speed, and motion time may share common processing. This can lead to the hypothesis that, despite the spatial nature of visual stimuli distorting temporal perception, the perception of motion speed and the perception of motion duration will tend to oppose each other, as observed for objects moving in the environment. To test this hypothesis, the present study measured perceived speed using Müller-Lyer illusion stimulus to determine the relationship between the time-perception consequences of motion stimuli observed in previous studies and the speed perception measured in the present study. Experiment 1 manipulated the perceived motion trajectory while controlling for the retinal motion trajectory, and Experiment 2 manipulated the retinal motion trajectory while controlling for the perceived motion trajectory. The result is that the speed of the inward stimulus, which is perceived to be shorter, is estimated to be higher than that of the outward stimulus, which is perceived to be longer than the actual distance traveled. Taken together with previous time perception findings, namely that time perception is expanded for outward stimuli and contracted for inward stimuli, this suggests that when the perceived trajectory of a stimulus manipulated by the Müller-Lyer illusion is controlled for, perceived speed decreases with increasing duration and increases with decreasing duration when the perceived distance of the stimulus is constant. This relationship suggests that the relationship between time and speed perceived by spatial cues corresponds to the properties of objects moving in the environment, i.e, an increase in time decreases speed and a decrease in time increases speed when distance remains the same.

Key words : speed perception, environmental object motion, relationship between speed and time perception, Mueller-Lyer illusion