

회전방향과 깊이 지각에서의 양안부등과 Pulfrich 효과의 상호작용*

Interaction of Binocular Disparity and Pulfrich Effect in the Perception
of Rotation Direction and Depth of a Transparent Rotating Cylinder

이 형 철^{**}

(Hyung-Chul O. Li)

요약 Pulfrich 효과는 운동정보를 처리하는 기체가 깊이정보도 처리할 가능성을 시사하는데, 다양한 신경생리학적 결과들이 이러한 가능성을 지지한다. 대표적인 깊이정보인 양안부등을 처리하는 기체가 Pulfrich 효과도 처리할 것이라는 가능성이 제기되어 왔지만, 두 가지 정보원이 하나의 자극 내에 공존하는 경우에 두 정보원의 상호작용 특성을 규명하기 위한 정신물리학적 연구는 없었다. 본 연구는 양안부등과 Pulfrich 효과를 이용하여 회전하는 무선점 반투명 원통체의 회전방향과 깊이를 일관되게 (일치조건) 또는 일관되지 않게 정의하는 조건 (불일치조건)에서의 원통체의 지각된 깊이와 회전방향을 측정하였다. 일치조건에서 지각된 원통체의 깊이는 양안부등 또는 Pulfrich 효과 단독에 의하여 정의된 원통체의 지각된 깊이보다 커졌다. 흥미롭게도 불일치 조건에서 원통체의 지각된 회전방향은 양안부등과 Pulfrich효과의 상대적인 강도에 의하여 조절되었다. 이러한 실험결과는 양안부등과 Pulfrich효과가 하나의 처리기체를 공유함을 함의한다.

주제어 Pulfrich 효과, 양안부등, 깊이, 회전방향

Abstract Pulfrich effect implies the possibility that motion information is processed by the system that processes depth information, and this possibility was supported by various neurophysiological studies. Although Pulfrich effect is processed by the system that processes binocular disparity, the representative depth information, there has not been a psychophysical research to determine the characteristics of the interaction between Pulfrich effect and binocular disparity using a stimulus containing the two information sources. Present research examined the characteristics of the interaction between Pulfrich effect and binocular disparity by measuring the depth and rotation direction of a rotating cylinder comprised of random dots under two different conditions: 1) consistent condition where the Pulfrich effect and binocular disparity defined the depth and rotation direction of the cylinder in a consistent manner 2) inconsistent condition where they did not. The perceived depth of the cylinder in the consistent condition was larger than that in disparity/Pulfrich effect only condition. Interestingly, the perceived rotation direction of the cylinder in the inconsistent condition was modulated by the relative strength of the disparity and the Pulfrich effect. These results imply that binocular disparity and Pulfrich effect are processed by a common neurophysiological mechanism.

Keywords Pulfrich effect, binocular disparity, depth, rotation direction

* 본 연구는 한국학술진흥재단의 2002년도 기초학문 육성 인문사회분야 지원사업(KRF-2002-074-HS1003)의 2차년도 지원에 의하여 수행되었습니다.

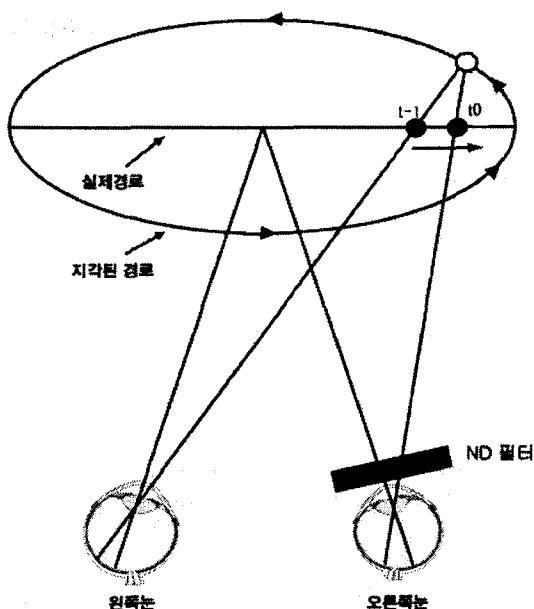
** 광운대학교 산업심리학과

연구배경

관찰자의 정면에 놓여 있는 2차원 평면상에서 진자운동을 하는 대상을 오른 쪽 눈에 ND 필터 (neutral density filter)를 착용하고 관찰하면, 대상이 2차원 평면상이 아닌, 깊이차원에서 반시계방향 (위에서 보았을 때)으로 회전하는 것으로 지각된다 (그림 1 참조). 동일한 자극을 ND 필터를 왼쪽 눈에 착용하고 관찰하면, 대상이 시계방향으로 깊이차원에서 회전하는 것으로 지각되는데, 이를 일반적으로 Pulfrich 효과라고 한다. Pulfrich 효과는 운동자극에서만 나타나는데, 이는 운동자극 처리과정에서 깊이정보가 산출되어 나타난 결과로 해석되며 아마도 운동자극을 처리하는 메카니

즘이 깊이정보도 처리할 가능성을 시사한다.

실제로 운동정보를 처리하는 메카니즘이 깊이정보도 처리할 가능성은 신경생리학적 연구 결과에 의해서도 지지되는데, 운동방향과 양안부등에 선택적으로 반응하는 신경세포는 시각피질 V1 영역에서부터 발견된다 (Hubel & Wiesel, 1968; Poggio & Fisher, 1977). Felleman과 Van Essen (1987)은 Macaque 원숭이의 V3영역에서 깊이와 운동정보를 모두 처리하는 양안부등 세포를 발견하였다. 특정운동 방향에 선택적으로 반응하는 것으로 알려진 V1영역의 신경세포들은 MT영역으로 투사되는데 (Albright, 1984), Nawrot과 Blake (1991)은 정신물리학적 연구를 통하여 양안부등정보와 SFM (structure-from-motion)정보가 공통의 기제에 의해 처리될



(그림 1) Pulfrich 효과의 예시. ND필터를 오른쪽 눈에 착용하고 진자운동을 하는 추를 관찰하면, 필터를 착용하지 않은 쪽 눈에 비하여 필터를 착용한 쪽 눈으로 입력되는 추의 영상이 양안부등 처리 기제에 상대적으로 늦게 도착하여 궁극적으로 양안부등을 유발한다. 따라서 오른쪽 눈에 필터를 착용하고 진자운동을 하는 추를 관찰하면 추가 반시계 방향으로 3차원 공간에서 회전하는 것으로 지각된다.

수 있다는 것을 보여 주었으며, MT영역을 그 후보로 제안하였다.

ND필터를 착용하였을 때 발생하는 Pulfrich 효과에 대한 설명에는 일반적으로 세 가지 부류가 존재한다. 첫째, ND필터를 착용하지 않은 쪽 눈에 비하여 착용한 쪽 눈에서의 신경 전달 정보에 일종의 지연 (interocular temporal delay)이 발생하고, 이와 같은 시간상에서의 지연이 자극의 공간상 이동과 일치하고 궁극적으로 양안부등으로 해석된다는 것이다(Carney, Paradiso & Freeman, 1989; Julesz & White, 1969; Rogers & Anstis, 1972). 둘째, 또 다른 설명은, 양안 간 지연 (interocular delay) 자체가 깊이정보를 추출하는데 이용될 수 있다는 것인데, 양안 간 지연이 양안부등으로 해석되지 않더라도 양안 간 지연 자체가 깊이정보로 이용될 수 있다는 것이다(Burr & Ross, 1979; Morgan & Ward, 1980). 실제로 Shioiri, Saisho와 Yaguchi (2000)는 양안 간 상관이 없는 무선점 자극 패턴에서도 양안 간 지연자체가 깊이감을 유발한다는 것을 보여 주었다. 이와 같은 실험결과는 양안부등이나 일관된 운동방향이 Pulfrich 효과 지각에 필수적인 것이 아니며, 양안 간 지연자체가 독립적인 깊이단서를 제공함을 시사한다. 셋째 설명은 앞서의 두 가지 설명을 포괄하는 것인데, 시각체계가 양안부등과 양안 간 지연을 동시에 처리한다는 것이다 (Burr & Ross, 1979; Quian, 1994; Quian & Andersen, 1997).

운동정보와 깊이정보가 공통된 정보처리기제에 의해 처리될 가능성을 시사하는 신경생리학적 증거들과, Pulfrich효과에 대한 설명들은, Pulfrich효과와 양안부등에 의한 깊이가 공통된 정보처리 기제에 의해 처리될 가능성을

시사한다. 하지만, Pulfrich 효과와 양안부등 정보처리에 대한 대부분의 정신물리학적 연구들은 하나의 연구에서 Pulfrich효과와 양안부등에 의한 깊이정보처리를 통합된 하나의 자극에서 연구하기보다 각각을 독립된 자극으로 연구하였다. 만약, Pulfrich효과와 양안부등 정보가 공통된 기제에 의해서 처리된다면, 두 가지가 하나의 자극 내에 공존하는 경우에 깊이 및 깊이차원에서의 운동정보처리과정에서 서로 영향을 주고받을 것이다. Pulfrich효과와 양안부등에 의한 깊이 및 깊이차원에서의 운동방향 지각을 하나의 자극 내에서 연구하는 것은 두 가지의 상호작용 방식과 Pulfrich효과와 양안부등을 처리하는 공통된 기제의 정보처리 특성을 이해하는데 도움을 줄 것이다.

Pulfrich효과에 대한 세 가지 부류의 설명은 서로 차이는 있지만, Pulfrich 효과와 양안부등이 하나의 공통된 기제에 의해 처리될 가능성은 시사하며, 이러한 가능성은 운동정보와 양안부등정보가 공통된 기제에 의해 처리된다는 신경생리학적 연구결과에 의해 지지된다. 본 연구의 목적은 Pulfrich 효과와 양안부등이 공존하는 자극을 이용하여 Pulfrich 효과와 양안부등을 처리하는 공통기제의 존재를 규명하고 Pulfrich 효과와 양안부등이 상호작용하는 방식을 검증하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 Pulfrich 효과 및 양안부등에 의하여 정의되는 반투명한 원통체를 무선점을 이용하여 모사하였고, 이렇게 모사된 반투명 원통체를 기본적인 실험자극으로 이용하였다.

반투명 원통체는 관찰자의 관점에서 볼 때, 두 개의 표면을 지니고 있는데, Pulfrich 효과와 양안부등이 회전방향에 대하여 일치하는 정보를 제공하는 경우에, 최종적으로 지각되

는 원통체의 깊이는 Pulfrich효과와 양안부등에 의해 정의되는 깊이의 단순한 합이 될 것인가? 만약, 공통된 처리기제가 존재한다면 두 가지 독립된 정보원에서 발생하는 정보를 어떤 형식으로든지 조합하여 원통체의 최종적인 깊이를 표상할 것이다. Pulfrich효과와 양안부등이 정의하는 원통체의 회전방향이 일치하지 않는다면 최종적으로 지각되는 원통체의 회전방향은 무엇에 의하여 결정될 것인가? 만약, 양안부등이 Pulfrich효과에 의하여 정의되는 회전방향 및 깊이에 비하여 시각기제에 의해 안정적이고 먼저 고려해야 할 정보로 고려된다면, Pulfrich효과가 정의하는 회전방향 및 깊이와 관계없이 양안부등이 정의하는 방식으로 원통체의 회전방향을 최종적으로 표상할 것이다. 이와 같은 질문에 답하기 위하여 실험 1에서는 Pulfrich 효과 및 양안부등 단독에 의하여 정의되는 무선점 원통체의 깊이와 회전방향을 각각 측정하였고, 실험 2에서는 Pulfrich 효과와 양안부등이 원통체의 깊이와 회전방향에 대하여 각기 일치하는 정보를 제공하는 조건과 일치하지 않는 정보를 제공하는 조건에서의 원통체의 깊이와 회전방향을 측정하였다.

실험 1. 양안부등/Pulfrich 효과가 단독으로 존재하는 조건에서의 원통체의 깊이/회전방향 지각

실험 1의 목적은 양안부등과 Pulfrich 효과가 각각 단독으로 존재할 때 반투명 원통체의 지각된 깊이와 회전방향을 측정하는 것이다. Pulfrich 효과와 양안부등 정보가 각각 단독으로 존재하는 조건에서 무선점으로 구성된 반

투명 원통체의 깊이와 회전방향이 지각되는 패턴을 아는 것은 매우 중요한데, 왜냐하면 두 가지가 반투명 원통체의 깊이와 회전방향에 대하여 일치 또는 불일치하는 정보를 제공할 때 각각의 독립된 정보원이 제공하는 깊이와 회전방향에 근거하여 공통된 처리기제에서 깊이와 회전방향이 어떻게 상호작용 하는지를 이해할 수 있기 때문이다

방법

피험자

연구가설을 알지 못하는 5명의 피험자가 실험에 참가하였다. 실험에 참가한 5명의 피험자 모두 정상시력 (또는 교정시력)과 정상 입체시를 지니고 있었다.

자극

반지름 2cm, 높이 8cm의 크기를 갖는 150개의 무선점으로 구성된 반투명 원통체가 Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Peli, 1997) 및 Matlab 프로그램과 Power Mac에 의해 구현되어 LG Flatron 17' 모니터에 제시되었다. 배경은 흑색 (5 cd/m^2)이었고, 무선점은 백색 (99 cd/m^2) 이었으며 원통체는 초당 2회의 속도로 회전하도록 구성되었다. 원통체의 깊이와 회전 방향은 양안부등 단독 또는 Pulfrich 효과 단독에 의하여 정의되었는데, 양안부등 단독에 의해 정의되는 경우에 양안부등은 0.29 deg 또는 1.15 deg 이었고, 원통체의 깊이와 독립적으로 회전방향은 원통체의 위에서 보았을 때

시계방향 또는 반시계 방향이 되도록 하였다. Pulfrich 효과 단독에 의하여 원통체의 깊이와 회전방향을 정의하는 경우에는, 양안부등 단독조건에서 구성된 왼쪽 이미지와 오른쪽 이미지 중에서 하나의 이미지 (본 연구에서는 왼쪽 이미지)를 선택하여 관찰자의 두 눈에 제시하였다. 무선점 원통체의 깊이를 조작하기 위하여 세 가지 다른 투과율을 지닌 Kodak ND 필터가 사용되었는데, 투과율은 각각 8.3%, 12.5%, 25% 이었다. 원통체의 깊이와 독립적으로 Pulfrich 효과에 의해 정의되는 원통체의 회전방향이 시계방향과 반시계방향이 되도록 조작하였는데, 시계 방향 회전을 구현하기 위하여 피험자의 왼쪽 눈에 ND 필터를 착용하도록 하였고, 반시계 방향 회전을 구현하기 위하여 피험자의 오른쪽 눈에 ND 필터를 착용하도록 하였다.

절차

피험자들은 거울형 입체경을 통하여 자극을 관찰하였는데, 입체경과 피험자 사이에 ND필터를 삽입/제거 할 수 있는 고정틀을 장치하였다. 자극이 제시되기 이전에 왼쪽 이미지와 오른쪽 이미지의 중앙에 0.5 deg 크기의 십자가를 제시하여 피험자가 거울형 입체경을 통하여 좌우 이미지를 적절히 통합하여 단일상으로 볼 수 있도록 하였고 실험자극을 관찰할 준비가 되면 피험자는 실험보조자에게 구두로 신호를 보내어 실험자극을 제시받았다. 피험자는 먼저 원통체의 회전방향을 구두로 보고하였고, 그 다음 지각된 원통체의 깊이(가장 깊이가 큰 곳: 원통체의 중앙)를 모니터 옆에 놓여 있는 실끈의 길이를 이용하여 보고하였

으며 실험보조자는 피험자가 제시한 실끈의 길이를 자를 이용하여 측정하였다. 실험보조자는 피험자가 보고한 원통체의 회전방향과 깊이를 컴퓨터 키보드를 이용하여 입력하였다.

양안부등 단독조건과 Pulfrich 효과 단독조건은 각각 독립된 세션에서 측정되었는데, 5명의 피험자 중 2명은 양안부등 단독조건에서 먼저 측정되었고 3명은 Pulfrich 효과 단독조건에서 먼저 측정되었다. 양안부등 단독조건에서 피험자는 양안부등의 양 두 가지 (0.29deg, 1.15 deg) X 원통체의 회전방향 두 가지 (시계방향, 반시계 방향) X 반복측정 X 10회, 총 40회 측정되었다. Pulfrich 효과 단독 조건에서 피험자는 ND필터의 투과율 세 가지 (8.3%, 12.5%, 25%) X 원통체의 회전방향 두 가지 (시계방향, 반시계방향) X 반복측정 10회, 총 60회 측정되었다. 두 가지 단독 조건 각각에서 관찰조건은 무선화되어 피험자에게 제시되었는데, Pulfrich 효과 단독조건에서 무선적인 ND 필터 투과율 및 회전방향 조작은 실험 시작 전 무선화된 관찰조건이 실험보조자에게 주어졌고 실험보조자는 이에 근거하여 관찰자와 입체경사이에 놓여 있는 고정틀의 왼쪽 혹은 오른쪽에 해당 시행의 해당 투과율에 해당하는 ND 필터를 장착하였다. 실험보조자가 ND 필터를 장착하는 동안 피험자는 어떤 투과율을 갖는 ND 필터가 장착되는지 확인할 수 없었다. 실험장치의 특성상 왼쪽 또는 오른쪽에 ND 필터가 장착되는지 확인할 수 있었지만, 피험자는 왼쪽/오른쪽 장착과 원통체의 시계방향/반시계방향의 관계에 대한 정보를 실험 전에 알지 못하였다. 피험자와 모니터 사이의 거리는 40cm 이었으며, 피험자의 턱은 턱받침대에 고정되어 실험자극을 관찰하는 동안에

머리움직임이 최소화 되도록 하였다.

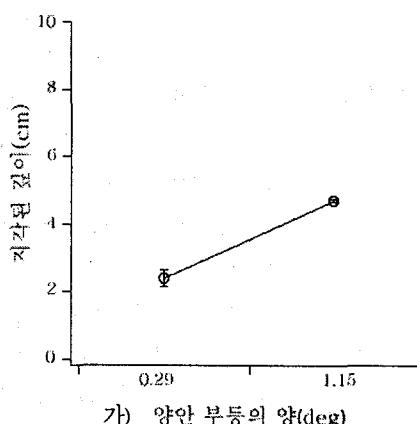
결과 및 논의

양안부등 및 Pulfrich 효과가 단독으로 존재하는 조건에서 반투명 원통체의 회전방향은 모든 피험자가 모든 시행에서 제대로 지각하였다. 양안부등이 반투명 원통체의 회전방향을 시계방향으로 정의한 경우에는 모든 피험자가 모든 시행에서 시계방향으로 지각하였고 반시계방향으로 정의한 경우에는 반시계 방향으로 제대로 지각하였다. Pulfrich 효과가 단독으로 존재하는 조건에서 ND필터를 피험자의 왼쪽 눈에 착용하도록 한 경우에는 반투명 원통체가 시계방향으로 회전하는 것으로, 오른쪽 눈에 착용하도록 한 경우에는 반시계 방향으로 회전하는 것으로 일관되게 지각하였다.

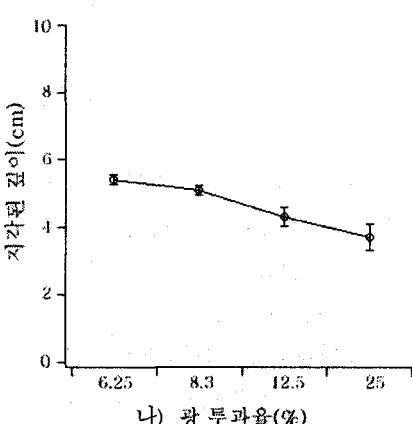
양안부등 및 Pulfrich 효과가 단독으로 존재하는 조건에서 반투명 원통체의 지각된 깊이

는 양안부등의 양과 ND 필터의 광 투과율에 따라서 체계적으로 변화하였다. 각 조건에서 피험자의 반응은 매우 유사하였다. 따라서 피험자 5명의 반응을 평균하였다. 그림 2의 가)는 양안부등이 단독으로 존재하는 조건에서 피험자가 지각한 반투명 원통체의 깊이 (원통체 중앙의 깊이)를 나타낸다. 양안부등이 0.29 deg인 경우에 지각된 평균 깊이는 2.4cm 이었고 1.15 deg인 경우에는 4.7 cm 이었다. 그림 2의 나)는 ND 필터의 광 투과율에 따른 피험자의 지각된 평균 깊이를 나타내는데, 광 투과율이 높을수록 지각된 깊이는 감소하였다. 광 투과율이 6.25%, 8.3%, 12.5%, 25%인 경우에 지각된 깊이는 각각 5.4, 5.1, 4.3, 3.7 cm 이었다.

실험 1에서 양안부등 및 Pulfrich 효과 단독 조건에서의 지각된 원통체의 회전방향과 깊이를 측정하였는데, 실험 1에서 획득한 자료는 실험 2에서의 양안부등과 Pulfrich 효과가 일관되게 원통체의 회전방향을 정의하는 경우와



(그림 2) 양안부등 또는 Pulfrich효과에 의하여 정의된 원통체의 지각된 깊이: 가) 양안부등의 양에 따른 원통체의 지각된 깊이 나) Pulfrich 효과를 유발하기 위해 피험자가 한 쪽 눈에 착용하는 ND필터의 광투과율에 따른 원통체의 지각된 깊이



일관되지 않게 정의하는 경우에서의 결과를 해석하기 위한 기초 자료로 이용되었다. 그럼 3이 보여 주듯이 ND 필터의 광 투과율이 높을수록 지각된 원통체의 깊이가 감소하는 이유는 광 투과율이 낮은 경우에 비하여 높은 경우일수록 양안 간 지연의 차이가 적을 것이고 이는 양안 간 지연의 차이가 큰 경우에 비하여 작은 양안부등으로 해석되거나 또는 작은 양안 간 지연 자체가 많은 양안 간 지연에 비하여 작은 깊이정보로 해석되었기 때문일 수 있다. ND필터가 왼쪽 눈에 착용되었을 경우에는 시계방향으로, 오른쪽 눈에 착용되었을 경우에는 반시계방향으로 회전방향을 지각하는 것은 본 연구에서의 독특한 결과가 아니다. 전형적인 Pulfrich 효과에서도 진자운동을 하는 주는 ND필터를 어느 쪽 눈에 착용하느냐에 따라서 깊이차원에서의 회전방향이 달리 지각된다 (Howard & Rogers, 2002).

실험 2. 양안부등/Pulfrich 효과가 원통체의 깊이와 회전방향에 대하여 일치/불일치한 정보를 제공하는 조건에서의 원통체의 깊이/회전방향지각

실험 1에서는 하나의 반투명 원통체의 깊이와 회전방향이 양안부등 또는 Pulfrich 효과 단독에 의하여 정의되었는데, 실험 2에서는 동일 자극 내에 양안부등과 Pulfrich 효과가 공존하도록 무선점 반투명 원통체가 구성되었다. 실험 2의 목적은 동일 자극 내에 양안부등과 Pulfrich 효과가 공존하는 경우에 두 가지의 상호작용 패턴을 검증하는 것이다. 두 가지가 원통체의 회전방향을 일관되게 정의하는 경우

에 지각된 원통체의 깊이는 각각이 단독으로 존재할 때의 지각된 깊이들의 단순한 합인가? 아니면 두 가지 중 어느 하나에 의해 더 영향을 받는가? 두 가지가 원통체의 회전방향을 일관되지 않게 정의하는 경우에 최종적으로 지각되는 원통체의 회전방향은 무엇에 의하여 결정될 것인가?

방법

피험자

실험 1에 참가하였던 피험자들이 실험 2에도 그대로 참가하였다.

자극

양안부등과 Pulfrich 효과가 하나의 반투명 원통체에 동시에 존재하도록 자극을 구성한 것을 제외하고 실험 2의 자극은 실험 1의 자극과 동일하였다. 실험 1에서의 양안부등 단독조건에서 사용되었던 자극을 왼쪽 또는 오른쪽 눈에 ND필터를 착용하고 관찰하게 함으로써 망막을 통과하여 피험자의 시각중추에 전달되는 최종적인 자극이 양안부등과 Pulfrich 효과 두 가지를 동시에 포함하도록 하는 것이 가능하다. 양안부등의 양은 실험 1에서와 마찬가지로 0.29 deg 또는 1.15 deg가 되도록 하였고, ND필터의 광 투과율 또한 실험 1에서와 같이 6.25%, 8.3%, 12.5%, 또는 25%가 되도록 하였다. 실험 1에서와 같이 양안부등은 원통체가 시계방향으로 또는 반시계 방향으로 회전하도록 원통체를 정의할 수 있는데, 실험 2에서는 양안부등에 의한 원통체의 회전방향

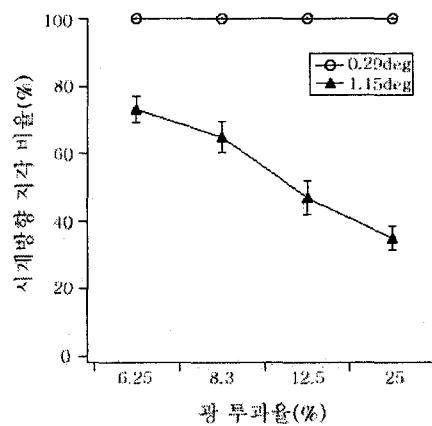
이 반시계 방향이 되도록 제한하였다. 양안부 등에 의한 원통체의 회전방향을 반시계방향으로 제한한 이유는 오랜 시간에 걸친 피험자의 피로를 최소화하기 위함이었다. 원통체의 회전방향 보고는 매우 명확한 과제이면서 동시에 매우 단순한 과제이므로 반시계방향으로 원통체의 회전방향을 국한시키는 것이 반응편파를 유발하지는 않을 것이다. 양안부등에 의한 원통체의 회전방향은 반시계방향으로 제한되었는데, 이때 ND 필터를 오른쪽 눈에 착용하고 동일자극을 관찰하게 함으로써 양안부등과 Pulfrich 효과가 원통체의 회전방향을 일관되게 정의하도록 하였다 (일치조건). 반대로, ND 필터를 피험자의 왼쪽 눈에 착용하게 함으로써 양안부등과 Pulfrich 효과가 원통체의 회전방향을 일관되지 않게 정의하도록 하였다 (불일치조건).

절차

실험 2의 절차는 실험 조건을 제외하고는 실험 1의 절차와 동일하였다. 총 시행 수는, 회전방향 정보 일치성 두 가지(일치, 불일치) X 양안부등의 양 두 가지 (0.29 deg, 1.15 deg) X 광 투과율 네 가지 X 반복측정 10회 = 160으로 총 160회였다. 실험조건은 무선적으로 피험자에게 제시되었으며, 피험자의 피로를 최소화하기 위하여 80회 시행 후에 약 10분간의 휴식을 취하도록 하였다.

결과 및 논의

양안부등과 Pulfrich 효과가 일관되게 원통체



(그림 3) 양안부등과 Pulfrich 효과가 하나의 원통체의 회전방향을 불일치하게 정의하는 조건에서 광 투과율과 양안부등의 양에 따라서 원통체가 시계 방향으로 회전한다고 지각하는 비율. 실험에 사용된 실험자극인 원통체의 회전방향은 양안부등에 의해 반시계 방향으로 그리고 Pulfrich 효과에 의해 시계방향으로 회전하도록 구성되었다. 양안부등의 양이 작은 경우에는 Pulfrich 효과가 정의한 시계방향으로 원통체가 회전하는 것으로 일관성있게 지각하였다. 하지만, 양안부등의 양이 상대적으로 증가한 경우에는 광투과율이 증가할수록 Pulfrich 효과가 정의한 시계방향으로 원통체가 회전하는 것으로 지각하는 비율이 점차 감소하였다.

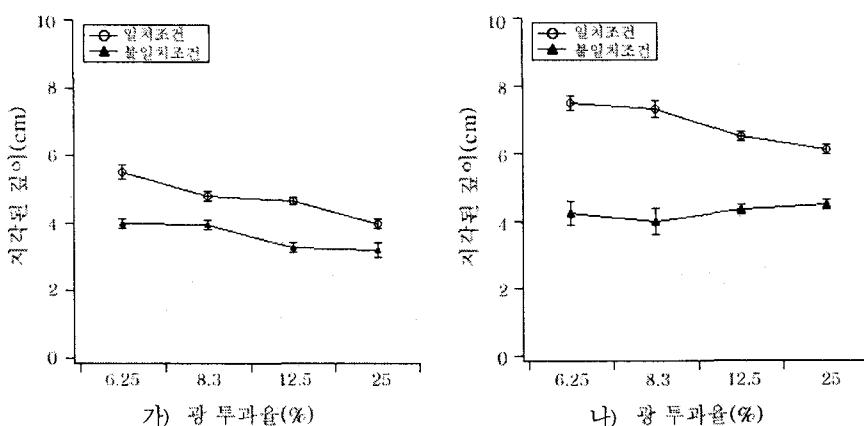
의 회전방향을 반시계 방향으로 정의하는 경우에 모든 피험자들은 모든 일치조건 시행에서 원통체의 회전방향을 반시계 방향으로 지각하였다. 불일치 조건에서 지각된 원통체의 회전방향은 양안부등의 양과 광 투과율에 따라서 달랐다. 그림 2는 불일치 조건에서의 광 투과율 및 양안부등의 양에 따라서 원통체의 회전방향을 시계방향으로 지각한 비율이다. 주목해야 할 것은 그림 3의 모든 조건에서 양안부등이 정의하는 원통체의 회전방향은 반시계 방향이며 Pulfrich 효과가 정의하는 원통체의 회전방향은 시계방향이다. 그림 2가 보여

주듯이 양안부등의 양이 0.29 deg 인 경우에 실험자들은 광 투과율에 관계없이 모든 시행에서 원통체가 시계방향으로 회전하는 것으로 지각하였다. 양안부등의 양이 1.15 deg 인 경우에는 양안부등이 0.29 deg 인 경우에 비하여 원통체가 시계방향으로 회전하는 것으로 지각하는 비율이 상대적으로 낮았다. 특히 광 투과율이 증가할수록 원통체가 시계방향으로 회전하는 것으로 지각하는 비율이 감소하였다.

이와 같은 실험결과는 실험 1의 양안부등 및 Pulfrich 효과 단독 조건에서의 원통체의 지각된 깊이의 상대적인 크기차이로 설명이 가능하다. 실험 1의 결과에 의하면 양안부등이 0.29 deg 인 경우에 원통체의 지각된 깊이는 약 2.4 cm 로써, Pulfrich 효과 단독 조건에서의 모든 광 투과율에서 지각된 깊이보다 작았다. 두 가지가 각기 다른 방향으로 원통체의 회전 방향을 정의하였다면, 최종적으로 지각되는 원통체의 회전방향은 보다 큰 깊이감을 유발하는 정보원이 정의하는 회전방향으로 지각됨

을 시사한다. 회전방향과 반투명 원통체의 깊이감은 밀접한 관계를 가지고 있는데, 반투명 원통체를 구성하는 두 면의 상대적인 깊이에 따라서 원통체의 회전방향이 변하기 때문이다. 양안부등이 1.15 deg 인 경우에 지각된 깊이는 약 4.7 cm 로써, ND 필터의 투과율이 6.5% , 8.3% 인 경우에 지각된 깊이와는 작거나 비슷하였지만 12.5% , 25% 인 경우에 지각된 깊이 보다는 약간 컸다. 양안부등이 1.15 deg 인 경우의 불일치 조건에서 원통체의 회전방향이 안정성 있게 어느 한쪽으로 지각되지 않은 이유는 Pulfrich효과 및 양안부등 각각이 불일치하는 원통체의 회전 정보를 완벽하게 압도하지 못하였기 때문인 것으로 해석된다.

그림 4의 가)와 그림 4의 나)는 각각 양안부등이 0.29 deg 일 때와 1.15 deg 일 때 광 투과율에 따른 원통체의 지각된 깊이를 나타낸다. 일반적으로 양안부등과 Pulfrich효과가 일관되지 않게 원통체의 회전방향을 정의하는 불일치 조건보다 일관되게 정의하는 일치조건



(그림 4) 양안부등과 Pulfrich 효과가 원통체의 회전방향을 일관되게 정의한 일치조건과 일관되지 않게 정의한 불일치 조건에서의 광투과율에 따른 원통체의 지각된 깊이: 가) 양안부등의 양이 0.29 deg 일 때 나) 양안부등의 양이 1.15 deg 일 때.

에서 원통체의 지각된 깊이가 컸다. 하지만 일치조건에서 지각된 원통체의 깊이는 실험 1의 양안부등 단독 조건 및 Pulfrich 효과 단독 조건에서 지각된 깊이의 단순한 합보다는 작았으며 불일치 조건에서의 지각된 깊이보다는 컸다. 이러한 실험결과는 양안부등과 Pulfrich 효과가 공통된 처리기제에 의해 처리되기는 하지만, 공통처리기제는 일치조건인 경우에 두 정보원이 표상하는 깊이를 단순 합산하여 대상의 깊이를 최종적으로 표상하는 것이 아님을 시사한다. 이와 같은 해석은 불일치 조건에서의 결과에서도 가능한데, 양안부등이 0.29 deg인 경우의 불일치조건에서의 지각된 깊이는 일치조건에서의 지각된 깊이보다는 작았지만, 실험 1에서의 결과와 비교해 볼 때, 불일치조건에서의 지각된 깊이가 양안부등 단독에 의해 원통체가 정의된 경우에서의 지각된 깊이에서 Pulfrich 효과 단독에 의해 원통체가 정의된 경우에서의 지각된 깊이를 뺀 것이 아님을 알 수 있다. 양안부등이 1.15 deg인 경우의 불일치조건에서의 지각된 깊이는 해석이 불가능한데, 왜냐하면 이때의 지각된 깊이는 회전방향지각이 안정적이지 못함을 고려할 때 원통체의 앞면과 뒷면이 수시로 변한 불안정한 깊이이기 때문이다.

종합논의

본 연구의 목적은 양안부등과 Pulfrich 효과가 공통된 기제에 의하여 처리되는지, 공통된 기제에 의하여 처리된다면 두 정보원이 공존하는 경우에 각각의 정보를 통합하는 정보처리 특성이 무엇인지를 규명하는 것이었다. 이를

위하여 본 연구에서는 무선점으로 구성된 회전하는 반투명 원통체를 구현하였고 동일 원통체의 회전방향과 깊이가 양안부등 및 Pulfrich 효과에 의해 독립적으로 정의되도록 하였다. 본 연구의 실험결과는 양안부등과 Pulfrich 효과가 공통된 기제에 의하여 처리될 가능성을 시사한다. 두 가지 가능성성이 있는데, 한 가지 가능성은 양안부등과 Pulfrich 효과를 유발하는 자극이 하나의 기제에 입력되고 출력되어 표상될 수 있다는 것이고, 다른 가능성은 두 가지 정보원이 각자 상이한 메카니즘에 의하여 처리된 후 동일한 메카니즘에 의하여 출력물이 통합될 수 있다는 것이다. 본 연구의 결과는 이 두 가지 가능성 중에 어느 가능성이 타당한지를 구별하지는 못한다. 만약 양안부등 및 Pulfrich 효과에 의하여 정의된 원통체의 회전방향 및 깊이가 상이한 메카니즘에 의해 처리되어 표상된다고 가정할 때, 동일 자극 내에 동시에 두 가지 정보원이 모두 존재한다면 어떤 현상이 발생할 것인가? 각기 상이한 기제에 의하여 처리된 출력물이 서로 표상되기 위하여 표상경쟁을 하기 때문에 각 기제에 의해 처리된 결과물이 번갈아 가면서 표상될 수 있다. 또는 한 가지 기제에 의해 처리된 결과물이 다른 기제에 의해 처리된 결과물을 억압하여 하나의 기제에 의해 처리된 결과물만 안정적으로 표상될 수 있을 것이다. 이와 같은 표상에서의 경쟁과 억압은 양안경쟁에서 흔히 발생하는 현상이며 (양안경쟁 관련 개관을 위해서는 Howard & Rogers(1995) 및 Blake & Logothetis (2001)를 참조하기 바람), 두 가지가 번갈아서 표상되는 Necker Cube와 같은 표상경쟁 상황에서도 흔히 발생하는 현상이다 (Leopold, Wilke, Maier & Logothetis, 2002).

본 실험결과는 양안부등 및 Pulfrich 효과가 하나의 처리기제를 공유한다는 것을 시사하는데, 왜냐하면 두 가지 정보원이 동시에 존재하는 상황에서 원통체의 회전방향이 일관되게 정의되더라도 각 정보원이 정의하는 깊이가 다르다면 상이한 깊이가 번갈아서 표상되거나 하나의 깊이만이 표상되어야 하는데, 본 연구 결과에 의하면 일치조건에서 피험자가 보고하는 원통체의 깊이는 단독조건에서의 지각된 깊이보다 큰 깊이가 안정적으로 보고 되기 때문이다. 만약, 공통된 처리기제가 존재하지 않는다면 두 가지 정보원이 상이한 회전방향을 정의하는 불일치조건에서 원통체의 회전방향이 시계/반시계 방향으로 번갈아서 표상되어야 하는데, 본 연구결과에 의하면 하나의 정보원이 다른 정보원을 압도하는 경우에 압도하는 정보원이 정의하는 쪽으로 회전방향을 지각한다. 두 가지 정보원 중 어느 하나가 다른 하나를 압도하지 못하는 경우에도 하나의 시행 내에서 피험자는 회전방향을 안정적으로 지각하였다. 이와 같은 실험결과는 양안부등과 Pulfrich 효과가 하나의 기제 내에서 정보가 통합되기 때문인 것으로 해석된다.

양안부등과 Pulfrich 효과 모두를 처리하는 공통기제는 양안부등과 Pulfrich 효과 각각에 의하여 유발되는 대상의 깊이를 단순히 합산하지 않는다. 양안부등과 Pulfrich 효과가 원통체의 회전방향을 일관되게 정의하는 경우에 지각된 원통체의 깊이는 양안부등 및 Pulfrich 효과 단독에 의하여 정의된 원통체의 지각된 깊이 보다 컸지만, 각 단독조건에서의 지각된 깊이의 단순 합 보다는 작았다. 단독조건 및 일치조건에서 원통체의 회전방향은 양안부등 및 Pulfrich 효과가 정의하는 방향으로 안정적

으로 지각하였다. 양안부등과 Pulfrich 효과가 대상의 회전방향을 일관되지 않게 정의하는 경우에 공통 처리기제는 보다 큰 깊이감을 표상하는 정보원이 정의하는 대상의 회전방향으로 대상이 회전하는 것으로 최종적으로 표상한다. 본 연구의 실험 2의 불일치조건에서 양안부등이 정의하는 원통체의 깊이보다 Pulfrich 효과가 정의하는 원통체의 깊이가 유의미하게 큰 경우에 Pulfrich 효과가 정의하는 쪽으로 원통체의 회전방향을 안정적으로 지각하였다. 주목해야 할 것은, Pulfrich 효과가 정의하는 원통체의 깊이가 양안부등이 정의하는 원통체의 깊이보다 유의미하게 큰 경우에, 양안부등이 정의하는 원통체의 회전방향이 Pulfrich 효과가 정의하는 깊이 및 회전방향에 의해 역전되었다는 것이다. 이러한 실험결과는 공통처리기제가 Pulfrich 효과에 비하여 양안부등을 상대적으로 더 중요한 정보원으로 간주하지는 않음을 시사한다.

참고문헌

- Albright, T. D. (1984). Direction and orientation selectivity of neurons in visual area MT of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 52, 1106-1130.
- Blake, R. & Logothetis, N. K. (2001). Visual Competition. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 1-11.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433-436.
- Burr, D. C. & Ross, J. (1979). How does binocular delay give information about depth? *Vision*

- Research*, 19, 523-532.
- Carney, T., Paradiso, M. A. & Freeman, R. D. (1989). A physiological correlate of the Pulfrich effect in cortical neurons of the cat. *Vision Research*, 29, 155-165.
- Felleman, D. J. & Van Essen, D. C. (1987). Receptive field properties of neurons in area V3 of macaque monkey extrastriate cortex. *Journal of Neurophysiology*, 57, 889-920.
- Howard, I. & Rogers, B. (1995). Binocular fusion and rivalry. *Binocular Vision and Stereopsis* (Eds). Howard & Rogers. Oxford. Oxford University Press.
- Howard, I. & Rogers, B. (2002). The Pulfrich effect. *Seeing in depth*. Toronto. University of Toronto Press.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. (1968). Receptive fields and functional architecture of the monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 195, 215-243.
- Julesz, B. & White, B. (1969). Short term visual memory and the Pulfrich phenomenon. *Nature*, 222, 639-641.
- Leopold, D. A., Wilke, M., Maier, A. & Logothetis, N. K. (2002). Stable perception of visually ambiguous patterns. *Nature Neuroscience*, 5, 605-609.
- Morgan, M. J. & Ward, R. (1980). Interocular delay produces depth in subjectively moving noise patterns. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 387-395.
- Nawrot, M. & Blake, R. (1991). The interplay between stereopsis and structure from motion. *Perception & Psychophysics*, 49, 230-244.
- Pelli, D. G. (1997). The Videl Toolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- Poggio, G. F. & Fisher, B. (1977). Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology*, 40, 1392-1405.
- Quian, N. (1994). Computing stereo disparity and motion with known binocular cell properties. *Neural Communications*, 6, 390-404.
- Quian, N. & Andersen, R. A. (1997). A physiological model for motion-stereo integration and a unified explanation of Pulfrich-like phenomena. *Vision Research*, 37, 1683-1698.
- Rogers, B. & Anstis, S. M. (1972). Intensity versus saccadation and the Pulfrich stereophenomenon. *Vision Research*, 12, 909-928.
- Shioiri, S., Saisho, H. & Yaguchi, H. (2000). Motion in depth based on inter-ocular velocity differences. *Vision Research*, 40, 2565-2572.

1 차원고접수: 2005. 10. 6

2 차원고접수: 2005. 12. 4

최종게재승인: 2005. 12. 6