

Pulfrich 효과 및 양안부등에의 순응이 모호한 SFM기반 원통체의 운동방향 지각에 미치는 영향

이 형 철

광운대학교 산업심리학과

본 연구의 목적은 Pulfrich 효과와 양안부등 그리고 SFM (structure-from-motion)이 하나의 공통된 기체에 의하여 처리되는 지를 검증하는 것이었다. 양안부등과 Pulfrich 효과 단독 또는 둘의 조합에 의하여 정의되는 순응자극인 무선점 반투명¹⁾ 원통체의 회전방향에 피험자를 순응시킨 후, SFM 기법에 의하여 회전방향이 모호하게 정의된 순응검사자극인 원통체의 회전방향을 보고하게 하였다. 양안부등 및 Pulfrich 효과에 의해 정의된 원통체에 노출된 피험자들은 순응 자극의 회전방향과 반대로 순응검사자극이 회전하는 것으로 지각하였다. 뿐만 아니라, 순응자극이 Pulfrich 효과와 양안부등에 의해 상이한 방향으로 회전하도록 정의된 경우에, 순응효과는 양안부등과 Pulfrich 효과의 상대적인 강도에 따라서 체계적으로 달리 나타났다. 이러한 실험결과는 양안부등, Pulfrich 효과 그리고 SFM이 공통의 신경생리학적 기체에 의해 처리됨을 시사한다.

주요어: Pulfrich 효과, 양안부등, 순응, SFM

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업단인 뇌기능 활용 및 뇌질환 치료기술 개발 연구사업단의 연구비 지원 (M103KV010021-04K2201-02140)에 의해 수행되었다.

교신저자: 이형철, (139-701) 서울시 노원구 월계동 447-1 광운대학교 산업심리학과

E-mail: hyung@kw.ac.kr

1) 본 연구에 사용된 원통체는 앞면과 뒷면이 모두 무선점으로 구성되어 있으며 앞면과 뒷면이 동시에 관찰가능하다. 투명한 원통체라고 하여도 문제가 없으나, 무선점 자체가 투명한 것은 아니므로 반투명 (semi-transparent) 원통체라고 명명하였다.

삼차원 공간에 존재하는 유기체는 다양한 3차원 정보의 처리를 통하여 3차원 공간의 속성을 표상한다 (Palmer, 1999). 관찰자와 3차원 공간의 관계 및 빛의 속성에 근거하여 발생하는 광학적인 3차원 정보가 있는가 하면, 관찰자와 3차원 공간의 거리를 반영하는 안구관련 3차원 정보가 있다. 정지된 영상자체에 내재되어 있는 정적인 3차원 정보가 있는가 하면, 동적인 영상에 내포되어 있는 3차원 정보가 있고, 두 눈간 거리와 3차원 공간의 거리 관계에 의해 발생하는 양안 3차원 정보가 있는가 하면, 단안에 맺히는 영상에 내포되어 있는 단안 3차원 정보가 있다. 절대적인 거리에 관한 정보를 담고 있는 정보가 있는가 하면 상대적인 거리관계만을 내포하는 정보가 있으며, 양화할 수 있는 3차원 정보가 있는가 하면, 양화되지 않는 질적인 3차원 정보가 있다. 각각의 3차원 정보는 3차원 공간의 속성을 중복적으로 관찰자에게 전달하기도 하지만 관찰자와 대상의 거리 및 관찰자의 움직임 여부

에 따라서 관찰자의 3차원 공간 표상에 대한 기여도가 다르다 (Cutting & Vishton, 1995).

다양한 3차원 정보 각 각이 신경생리학적으로 어디에서 처리되는지에 대한 국지적인 지식은 존재하지만, 전체 3차원 정보가 구체적으로 어디에서 처리되어 어떻게 통합되는가에 대해서는 알려진 것이 많지 않다. 전체 3차원 정보 각 각의 정보처리 특성과 이들이 통합되는 정보처리 특성 및 신경생리학적 기제를 밝히는 데에는 여러 가지 방법이 있을 수 있지만 한 가지 가능한 방법은 몇몇 3차원 정보의 통합 및 공통처리기제의 특성을 밝힘으로써 궁극적으로 전체 3차원 정보처리 시스템의 특성 및 신경생리학적 기제를 규명하는 것이다. 본 연구는 정적인 3차원 정보의 대표인 양안부등과 동적인 3차원 정보의 대표인 SFM (structure-from-motion) 그리고 두 가지 요소를 공통으로 지니고 있는 Pulfrich 효과 세 가지가 하나의 처리기제를 공유할 가능성을 순응과제를 이용하여 검증하였다.

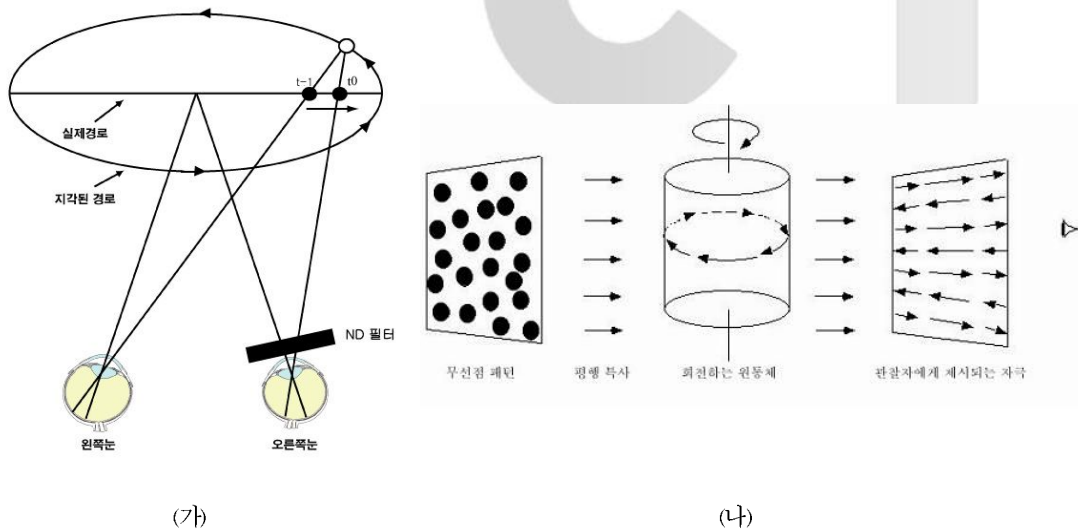


그림 1. Pulfrich 효과 (가) 및 SFM 기법에 의한 회전하는 원통체의 구현 (나)

관찰자의 정면에 놓여 있는 2차원 평면상에서 진자운동을 하는 대상을 오른쪽 눈에 ND 필터 (neutral density filter)를 착용하고 관찰하면 마치 진자가 깊이차원에서 반시계 방향(위에서 보았을 때)으로 회전하는 것으로 지각하는데, 이를 일반적으로 Pulfrich 효과라고 한다. Pulfrich 효과에 대한 설명은 크게 세 가지가 있다. 첫째, ND 필터를 착용하지 않은 쪽 눈에 비하여 착용한 쪽 눈에서의 신경정보의 전달에 지연 (interocular temporal delay)이 발생하고 시간상에서의 지연이 자극의 공간상에서의 이동 즉 양안부등으로 해석된다는 것이다 (Carney, Paradiso & Freeman, 1989; Julesz & White, 1969; Rogers & Anstis, 1972). 그림 1의 가)는 오른쪽 눈에 ND필터를 착용하고 진자운동하는 자극을 관찰할 경우에, ND필터를 착용하지 않은 쪽 눈과 착용한 쪽 눈에 결과적으로 입력되어 해석되는 진자의 위치가 상이함을 나타내며 오른쪽 눈에 필터를 착용할 경우에 지각되는 진자는 위에서 볼 때 시계방향으로 회전하는 것으로 지각함을 나타낸다. 둘째, 양안간 지연자체가 양안부등으로 해석되지 않더라도 깊이정보로 이용될 수 있다는 것이며, 실제 Shioiri, Saisho와 Yaguchi (2000)은 양안간 상관성이 없는 무선점 자극패턴에서도 양안간 지연자체가 깊이감을 유발한다는 것을 보여 주었다. 셋째 설명은 앞서의 두 가지 설명을 포괄하는 것인데, 시각체계가 양안부등과 양안간 지연을 동시에 깊이정보로 처리한다는 것이다 (Burr & Ross, 1979; Qian, 1994; Qian & Andersen, 1997). Pulfrich 효과는 운동자극에서만 나타나는데 이는 운동자극 처리과정에서 깊이정보가 산출되어 나타난 결과로 해석되며 아마도 운동자극을 처리하는 메카니즘이 깊이정보도 처리할 가능성을 시사한다. 특

정 운동자극을 한쪽 눈에 ND 필터를 착용하고 두눈으로 관찰할 때 발생하는 Pulfrich 효과 이외에도, 운동자극이 3차원 정보를 전달한다는 연구결과가 있다. 대상의 움직임 자체 또는 관찰자의 움직임에 의해 외부 3차원 대상 및 공간이 관찰자의 망막에 형성하는 동적인 망막상 자체가 대상 및 공간의 3차원 속성에 대한 정보를 전달하는데 이를 SFM (structure-from-motion) 또는 운동시차 (motion parallax)라고 한다 (Wallach & Oconnell, 1953). 그림 1의 나)는 회전하는 원통체에 무선점이 평행투사법에 의해 투사될 때 관찰자의 망막에 궁극적으로 형성되는 무선점 운동패턴을 보여 주는 데, 관찰자가 이와같은 무선점 자극을 관찰하면 3차원의 회전하는 원통체를 지각하게 된다. 이때, 평행투사법에 의하여 투사된 자극은 원통체의 앞/뒷면에 대한 정보가 부족하기에 동일한 자극이 때로는 시계방향으로 때로는 반시계 방향으로 회전하는 것으로 지각한다. 본 연구에서는 이와 같이 운동정보에 의해 3차원 원통체를 구현하는 기법을 간략히 요약하여 SFM 기법이라고 명명한다.

Pulfrich효과와 양안부등에 의한 3차원 지각은 두 눈으로부터 영상을 입력받는 것이 중요하다는 공통점이 있으며, Pulfrich효과와 SFM에 의한 3차원 지각은 영상자체가 운동정보를 포함하고 있어야 한다는 공통점이 있다. 양안부등과 SFM은 각 각 정적이고 동적인 특성을 지니고 있다는 차이점이 존재하지만, 양안부등은 두 시점 (viewpoint) 에서의 3차원 공간의 영상을 표집하고 SFM은 하나의 시점에서 각기 상이한 시간에 걸쳐 3차원 대상의 상이한 영상을 표집함으로써 궁극적으로 관찰자와 3차원 공간의 거리 및 양안간 거리 또는 표집 시간에 따른 영상의 시차(parallax)를 획득하여

3차원 특성을 파악한다는 공통점이 있다. 세 가지 3차원 정보원간에 존재하는 공통점은 세 가지 정보원이 하나의 정보처리기제를 공유할 가능성을 시사한다. 이러한 가능성은 신경생리학적 연구와 정신물리학적 연구결과에 의해서도 지지된다. Felleman과 Van Essen (1987)은 Macaque 원숭이의 V3 영역에서 깊이와 운동정보를 모두 처리하는 양안부등 세포를 발견하였다. 특정 운동방향에 선택적으로 반응하는 것으로 알려진 V1 영역의 신경세포들은 MT 영역으로 투사되는데 (Albright, 1984), Nawrot과 Blake (1991)은 정신물리학적 연구를 통하여 양안부등과 SFM 정보가 공통의 기제에 의해 처리될 수 있다는 것을 보여 주었으며, MT 영역이 공통의 신경생리학적 기제임을 제안하였다. 이형철(2005)은 Pulfrich 효과와 양안부등이 회전하는 무선점 반투명 원통체에 공존하는 경우에 원통체의 깊이와 회전방향지각에 두 가지가 통합되어 영향을 미친다는 것을 보여 줌으로써 Pulfrich 효과와 양안부등이 하나의 기제를 공유할 가능성을 제안하였다. 양안부등과 SFM, 그리고 Pulfrich 효과와 양안부등이 각 각 처리기제를 공유할 가능성이 신경생리학적 연구 및 정신물리학적 연구결과에 의하여 제시되었지만 과제 및 자극이 각 연구에서 상이하고 또한, 각기 상이한 단계에서 처리기제를 공유할 가능성을 배제할 수 없으므로 세 가지가 하나의 기제를 공유한다는 경험적인 지지는 부족하다. 또한 Pulfrich 효과와 SFM이 하나의 공통 기제에 의해 처리된다는 연구보고는 없었다. 본 연구의 목적은 무선점 원통체라는 동일한 자극과 순응과제를 이용하여 세 가지가 하나의 기제를 공유한다는 것을 검증하는 것이었다.

Pulfrich 효과, 양안부등 그리고 SFM이 하나

의 공통기제에 의해 처리되는지를 검증하기 위하여 본 연구는 회전하는 무선점 반투명 원통체의 깊이 및 회전방향을 Pulfrich 효과 및 양안부등에 의하여 정의하고, 이 원통체에의 순응이 SFM 기법에 의하여 구현된 회전방향이 모호한 반투명 원통체의 회전방향 지각에 미치는 영향을 검증하였다. 본 연구에서 사용한 과제는 Nawrot과 Blake (1991)이 양안부등과 SFM이 하나의 기제를 공유함을 검증하기 위하여 사용한 과제이다. 평행투사를 이용한 SFM기법에 의하여 구현된 회전하는 반투명 원통체의 회전방향은 모호하여 때로는 시계방향으로 때로는 반시계 방향으로 회전하는 것으로 지각된다. 양안부등을 이용하면 회전하는 무선점 반투명 원통체가 시계방향 또는 반시계 방향 중 한쪽 방향으로 안정되게 회전하는 것으로 지각되도록 구현하는 것이 가능한데, Nawrot과 Blake는 양안부등에 의하여 정의된 무선점 원통체에 피험자를 순응토록 한 후 평행투사를 이용한 SFM기법에 의하여 구현된 반투명 원통체의 회전방향을 보고하게 하면 양안부등에 의하여 구현된 순응자극과 반대방향으로 회전하는 것으로 안정되게 지각하는 것을 보고하였다. SFM기법에 의하여 구현된 원통체의 회전방향 지각이 양안부등을 이용하여 구현한 원통체에의 순응에 영향을 받는다는 것은 양안부등과 SFM이 하나의 처리기제를 공유함을 시사한다. Bradley, Chang과 Andersen (1998)은 rhesus 원숭이의 MT 영역에 있는 신경세포가 회전방향이 모호하게 정의된 SFM 기법에 의하여 구현된 동일한 원통체에 대하여 회전방향이 상이하게 지각될 때마다 상이한 신경활성화 패턴을 나타냄을 보였다. 또한 동일한 신경세포가 양안부등에 의해 신경세포가 선호하는 특정방향으로 회전하도록 정의되어

제시될 때 선택적으로 활성화됨을 보여 주었다. 이러한 결과는 MT신경세포가 양안부등과 SFM에 공통적으로 반응함을 시사한다.

본 연구는 양안부등, Pulfrich 효과 그리고 SFM이 하나의 신경생리학적 기제를 공유하는지를 검증하기 위하여 순응효과 측정기법을 이용하였다. 신경생리학자들은 특정 기능을 담당하는 신경생리학적 기제의 존재를 증명하기 위하여 특정 신경세포에 미세전극을 설치하고 자극을 제시하면서 신경흥분 변화를 측정한다. 순응효과는 정신물리학에서의 미세전극으로서의 역할을 하는데, 운동순응효과(motion after effect)는 특정 운동방향을 선택적으로 처리하는 신경기제가 존재함을 시사하며 색채순응효과는 특정 색채 정보처리 기제의 존재를 시사한다. 만약 순응자극으로 양안부등 자극을 제시하였는데, 검사자극으로 이용된 SFM 자극에서 순응효과가 발견된다면 이는 양안부등과 SFM이 하나의 신경생리학적 기제를 공유함을 시사한다.

실험 1. 양안부등에 의해 정의된 원통체의 순응이 SFM기반 원통체의 운동방향 지각에 미치는 영향

실험 1은 Nawrot과 Blake이 사용한 방법을 기본적으로 이용하여 양안부등과 SFM이 하나의 기제를 공유하는지를 검증하였다.

방 법

피험자 실험가설을 알지 못하는 8 명의 피험자가 실험에 참여하였다. 모든 피험자들은 정상 또는 정상 교정시력을 지녔으며 정상 입체

시를 지녔다.

자극 반지름 2cm, 높이 8cm의 크기를 갖는 150개의 무선점으로 구성된 반투명 원통체가 Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997) 및 Matlab 프로그램과 Power Macintosh에 의해 구현되어 LG Flatron 17' 모니터에 제시되었다. 배경은 흑색 (5 cd/m²)이었고, 무선점은 백색 (99cd/m², 0.03 deg X 0.03 deg) 이었으며 원통체 (2.0 deg X 3.5 deg)는 초당 2회의 속도로 회전하도록 구성되었다. 순응자극은 양안부등에 의하여 시계 및 반시계 방향으로 회전하도록 구현되었고, 이 때 양안부등의 양(원통체의 정 중앙 부분에서의 양안부등의 양은 0.29 deg)였다. 순응검사자극은 양안부등에 의하여 구현된 순응자극과 동일한 크기를 갖도록 SFM 기법에 의하여 150개의 무선점으로 구현되었는데 평행투사를 이용하여 최종적으로 지각되는 순응검사자극의 회전방향은 순응자극에 순응하지 않았을 때) 때로는 시계방향으로 지각되고 때로는 반시계방향으로 지각되어 모호하였다.

절차 실험은 컴퓨터 모니터의 불빛만 존재하는 실험실에서 수행되었다. 피험자가 수행해야 할 과제에 대하여 소개 받은 후 피험자들은 컴퓨터 모니터 앞에 앉았으며, 입체경을 이용하여 왼쪽 영상과 오른쪽 영상 자극을 자연스럽게 관찰할 수 있도록 예비자극(사각형 틀과 틀 중앙의 십자 무늬)을 이용하여 입체경을 조절하였다. 실험준비가 끝나면 피험자는 컴퓨터 키보드의 스페이스 바를 누름으로써 순응자극을 제시받았다. 여덟 명의 피험자 중에서 네 명은 양안부등에 의하여 시계방향으로 회전하도록 무선점으로 구현된 반투명 원

통체에 60초간 노출되었으며, 나머지 네 명은 반시계 방향으로 회전하는 반투명 원통체에 순응되도록 하였다. 60초간의 순응자극이 제시되고 500 msec 동안 흑색 배경화면이 제시된 후 자동적으로 평행투사를 이용한 SFM 기법에 의하여 정의된 회전방향이 모호한 반투명 원통체가 10초간 제시되었다. 피험자의 과제는 순응검사자극으로 제시된 반투명 원통체의 회전방향을 키보드를 이용하여 보고하였는데, 원통체의 회전방향이 시계방향이면 'S'를, 반시계방향이면 'A'를 누르도록 하였다. 순응 검사자극이 제시되는 10초 동안 원통체의 회전방향이 수시로 변화하는 것으로 지각되면 수시로 변화하는 회전방향을 보고하는 것이 가능하도록 하였으며 컴퓨터에 입력되는 키보드를 체크함으로써 시계방향으로 지각되는 시간과 반시계 방향으로 지각되는 시간을 측정하였다. 피험자와 모니터 사이의 거리는 40cm 이었으며, 순응자극을 관찰하고 순응검사자극

의 회전방향을 보고하는 동안에 피험자의 머 리움직임을 최소화하기 위하여 피험자의 턱은 턱 받침대에 고정되었다.

결과 및 논의

전형적인 순응효과가 발견되었다. 그림 2의 가)와 나)는 각 각 시계방향/반시계방향으로 회전하는 원통체에의 순응에 따른 순응효과를 나타낸다. 그림에서 순응효과란 피험자가 순응자극의 회전방향과 반대방향으로 검사자극이 회전하는 것으로 지각한 시간을 나타낸다. 예를 들어 순응자극의 검사자극이 반시계 방향일 때 순응효과란 피험자가 검사자극이 시계방향으로 회전한다고 지각한 시간이며, 반대로 순응자극의 회전방향이 시계 방향일 때 순응효과란 검사자극이 반시계 방향으로 회전하는 것으로 지각한 시간을 뜻한다. 시계방향으로 회전하는 반투명 원통체에 순응되었던

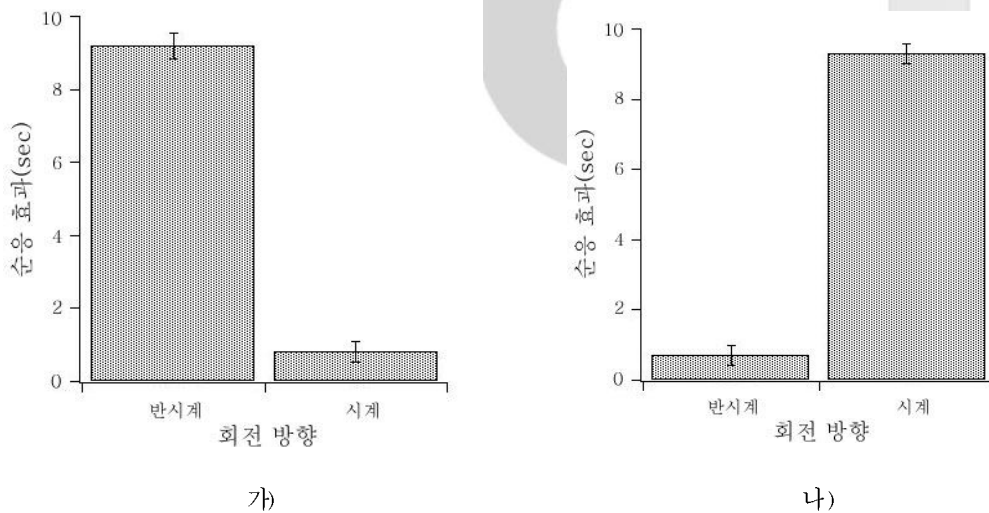


그림 2. 양안부등에 의해 정의된 원통체에의 순응에 따른 순응효과: 가) 양안부등에 의해 정의된 순응자극인 원통체의 회전방향이 시계방향일 때의 순응효과 나) 양안부등에 의해 정의된 순응자극인 원통체의 회전방향이 반시계 방향일 때의 순응효과

피험자들은 순응검사자극이 제시되는 10초 동안의 대부분의 시간에 원통체가 반시계 방향으로 회전한다고 보고하였으며 반대로 반시계 방향으로 회전하는 반투명 원통체에 순응되었던 피험자들은 순응검사자극이 제시되는 10초 동안의 대부분의 시간에 원통체가 시계 방향으로 회전한다고 보고하였다. Nawrot과 Blake의 연구에서 발견되었던 순응효과가 본 연구에서도 반복적으로 발견되었다. 양안부등에 의하여 정의된 회전하는 반투명 원통체의 회전방향을 처리하는 기제는 양안부등 정보를 주도적으로 처리할 것으로 기대되는데, 양안부등에 의하여 정의된 순응자극에의 순응이 SFM 기법에 의하여 정의된 원통체의 회전방향 지각에 영향을 미쳐 전형적인 순응효과가 나타났다는 것은 양안부등 정보를 처리하는 기제와 SFM 정보를 처리하는 기제가 공유하는 신경생리학적 메커니즘이 존재한다는 것을 시사한다.

피험자들은 순응검사자극이 제시되는 10초 동안 대부분의 시간에 순응자극의 회전방향과 반대방향으로 검사자극이 회전하는 것으로 지각하였지만 1초미만의 시간동안에 순응자극의 회전방향과 같은 방향으로 검사자극이 회전하는 것으로 지각하기도 하였다. 대부분의 피험자가 1회 또는 2회에 걸쳐서 순간적으로 순응효과와 반대되는 방향으로 검사자극이 회전하는 것으로 지각하였으며 이러한 현상은 검사자극이 제시되는 초반부 보다는 중후반부 이후에서 주로 발생하였다. 검사자극의 제시시간을 10초 이상으로 길게 하면, 이와 같은 현상이 관찰되는 빈도가 증가할 것으로 기대되며, 이를 양화하면 순응강도를 측정하는 것이 가능할 것이다. 추후의 연구에서는 순응검사자극의 제시시간을 연장하여 순응강도를 양화

하도록 할 것이다.

실험 2. Pulfrich 효과에 의해 정의된 원통체에의 순응이 SFM기반 원통체의 운동방향 지각에 미치는 영향

실험 2의 목적은 Pulfrich 효과와 SFM이 하나의 공통된 기제에 의해 처리되는지를 검증하는 것이었다. 이를 위하여 Pulfrich 효과에 의해 무선점 반투명 원통체의 회전방향이 정의되도록 순응자극을 구성하였다. 피험자들이 자극에 순응시킨 후 SFM 기법에 의하여 정의된 원통체의 회전방향을 보고하게 함으로써 순응효과를 측정하였다.

방 법

피험자 실험 1에서의 경험 및 실험 참여 순서가 순응효과에 영향을 미칠 가능성을 배제할 수는 없다. 따라서, 실험 1에 참여하지 않은 8명의 피험자가 실험 2에 참여하였다. 모든 피험자들은 정상 또는 정상 교정시력을 지녔으며 정상 입체시를 지녔다.

자극 순응자극인 원통체가 Pulfrich 효과에 의해 시계방향 또는 반시계 방향으로 회전하는 것으로 안정되게 지각되도록 구현한 것 이외에 실험 2의 자극은 실험 1의 자극과 기본적으로 동일하였다. 순응자극으로 이용된 자극은 실험 1에서 사용된 순응자극인 입체그림 쌍에서 왼쪽 눈에 입력되는 상을 오른쪽 눈에 제시함으로써 양안부등이 0이 되도록 하였으며, 실험 1에서 사용된 입체경을 통하여 자극을 관찰하도록 하고, 왼쪽 눈 또는 오른쪽

눈에 ND 필터를 착용하도록 함으로써 순응자극인 원통체의 회전방향이 특정방향으로 회전하도록 조작하였다. 실험에 사용된 ND필터의 광 투과율은 6.25% 이었다. 검사자극은 실험 1에 사용된 검사자극과 동일하였다.

절차 실험 2의 절차는 기본적으로 실험 1과 동일하였다. 여덟 명의 피험자 중 네 명은 시계 방향으로 회전하는 순응자극에, 나머지 네 명은 반시계 방향으로 회전하는 순응자극에 노출되도록 하였으며, 피험자의 과제는 순응 검사자극으로 10초간 제시되는 SFM 기법에 의해 구현된 원통체의 회전방향을 키보드를 이용하여 보고하는 것이었다.

결과 및 논의

실험 1에서와 마찬가지로 전형적인 순응효과가 발견되었다. 그림 3의 가와 나 는 각각

Pulfrich 효과에 의해 정의된 시계방향 반시계 방향으로 회전하는 원통체에의 순응에 따른 순응효과를 나타낸다. 시계방향으로 회전하는 반투명 원통체에 순응되었던 피험자들은 순응 검사자극이 제시되는 10초 동안의 대부분의 시간에 원통체가 반시계 방향으로 회전한다고 보고하였으며 반대로 반시계 방향으로 회전하는 반투명 원통체에 순응되었던 피험자들은 순응검사자극이 제시되는 10초 동안의 대부분의 시간에 원통체가 시계 방향으로 회전한다고 보고하였다. Pulfrich 효과에 의해 회전방향이 정의된 원통체에의 순응이 SFM 기법에 의해 정의된 원통체의 회전방향 지각에 영향을 미쳤다는 것은 Pulfrich 효과를 처리하는 기제와 SFM을 처리하는 기제가 하나의 신경생리학적 메카니즘을 공유함을 시사한다.

실험 1의 결과는 양안부등을 처리하는 기제와 SFM을 처리하는 기제가 하나의 신경생리학적 메카니즘을 공유함을 시사하고, 실험 2

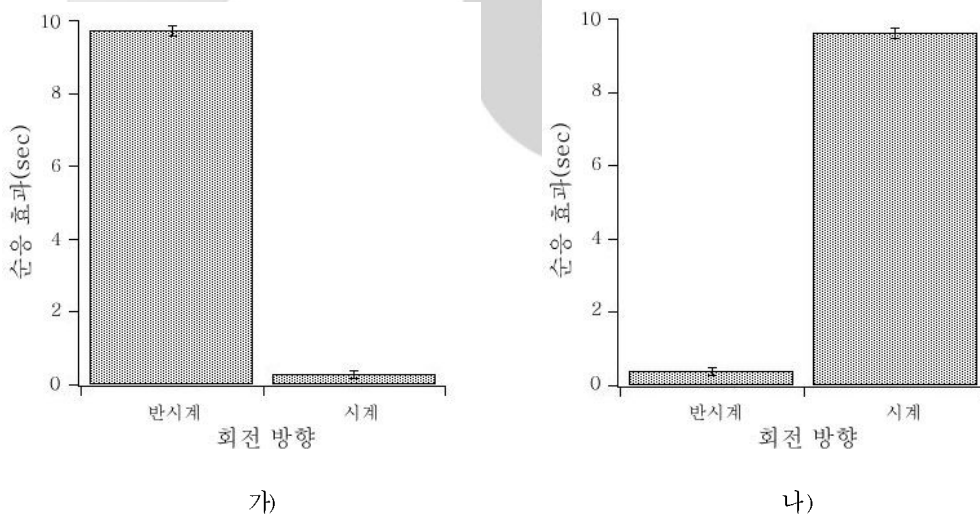


그림 3. Pulfrich 효과에 의해 정의된 원통체에의 순응에 따른 순응효과: 가)Pulfrich 효과에 의해 정의된 순응자극인 원통체의 회전방향이 시계방향일 때의 순응효과 나) Pulfrich 효과에 의해 정의된 순응자극인 원통체의 회전방향이 반시계 방향일 때의 순응효과

의 결과는 Pulfrich 효과를 처리하는 기제와 SFM을 처리하는 기제가 하나의 신경생리학적 메커니즘을 공유함을 시사한다. 실험 1과 실험 2의 결과에 근거하여 양안부등과 Pulfrich 효과 및 SFM이 하나의 공통된 신경생리학적 기제에 의해 처리된다고 결론짓기 위해서는 세 가지 모두가 하나의 신경생리학적 정보처리 단계에서만 처리된다는 가정이 전제되어야 한다. 만약 SFM이 여러 단계에 걸쳐서 처리된다면 양안부등과 SFM이 공유하는 신경생리학적 기제와 Pulfrich 효과와 SFM이 공유하는 신경생리학적 기제는 동일한 기제가 아닐 수 있다.

실험 3. 양안부등과 Pulfrich 효과가 불일치하게 정의한 원통체에의 순응이 모호한 SFM 원통체의 운동방향 지각에 미치는 영향

실험 3의 목적은 양안부등과 Pulfrich 효과 및 SFM이 하나의 공통된 신경생리학적 기제를 공유하는지를 검증하는 것이었다. 이를 위하여 양안부등과 Pulfrich 효과가 순응자극인 원통체의 회전방향을 불일치하게 정의하도록 구성하고 순응자극에의 노출이 SFM 기법에 의하여 정의된 원통체의 회전방향 지각에 미치는 영향을 측정하였다.

이형철 (2005)은 양안부등과 Pulfrich 효과가 하나의 무선점 원통체의 회전방향을 불일치하게 정의하는 경우에 피험자가 지각하는 원통체의 회전방향은 양안부등과 Pulfrich 효과의 상대적인 강도에 의해 결정된다는 것을 보여 주었다. 양안부등이 정의하는 원통체의 깊이가 Pulfrich 효과에 의해 정의되는 원통체의 깊이보다 작은 경우에는 두 가지가 불일치하게 원통체의 회전방향을 정의하더라도 피험자는

Pulfrich 효과가 정의하는 방향으로 원통체의 회전방향을 안정적으로 지각하였다. 실험 3에서는 Pulfrich 효과에 의해 정의되는 원통체의 깊이가 양안부등에 의해 정의되는 원통체의 깊이보다 상대적으로 커서 두 가지가 순응자극인 원통체의 회전방향을 불일치하게 정의하더라도 Pulfrich 효과에 의해 정의하는 방향으로 원통체의 회전방향을 지각하는 Pulfrich 효과 우세조건과 그 반대인 양안부등 우세조건에서 각각 피험자를 순응시킨 후에 SFM 기법에 의해 정의된 순응검사자극인 원통체를 이용하여 순응효과를 측정하였다. 이형철의 연구는 양안부등과 Pulfrich 효과 각각에 의해서 정의된 원통체의 깊이와 회전방향이 하나의 처리기제 내에서 통합됨을 시사한다. 만약, SFM 기법에 의하여 정의된 순응검사 자극인 원통체의 회전방향이 양안부등과 Pulfrich 효과 중에서 상대적으로 우세한 정보원이 정의하는 회전방향을 반대로 지각된다면, 양안부등과 Pulfrich 효과를 공통으로 처리하는 기제와 SFM을 처리하는 기제가 하나의 신경생리학적 기제를 공유할 가능성을 시사한다.

방 법

피험자 실험 1과 실험 2에 참여하지 않은 16명의 피험자가 실험 3에 참여하였다. 모든 피험자들은 정상 또는 정상 교정시력을 지녔으며 정상 입체시를 지녔다.

자극 순응자극인 원통체의 회전방향이 양안부등과 Pulfrich 효과에 의해 불일치하게 정의되었다는 점을 제외하고 실험 3의 자극은 실험 1 및 실험 2에 사용된 자극 특성과 기본적으로 동일하였다. 두 가지 방법으로 순응자극

인 원통체의 회전방향이 불일치하게 정의되었다: Pulfrich 효과 우세조건과 양안부등 우세조건. Pulfrich 효과 우세 조건에서는 Pulfrich 효과가 양안부등을 압도하여, Pulfrich 효과와 양안부등이 정의하는 원통체의 회전방향이 불일치함에도 불구하고 피험자가 지각하는 원통체의 회전방향은 Pulfrich 효과에 의해 정의되는 회전방향에 영향을 받았다. 이를 위하여 6.25%의 광 투과율을 갖는 ND 필터를 피험자의 왼 쪽 또는 오른 쪽 눈에 착용하도록 하였으며, 양안부등은 0.29도가 되도록 자극을 구성하였다. 양안부등 우세조건에서는 63%의 광 투과율을 갖는 ND 필터를 피험자의 왼쪽 또는 오른쪽 눈에 착용하도록 하였으며, 양안부등은 1.5도가 되도록 자극을 구성하였다. 두 조건 모두 최종적으로 지각되는 원통체의 회전방향은 시계방향 또는 반시계 방향이 되도록 하였는데, Pulfrich 효과 우세조건에서는 최종적으로 지각되는 원통체의 회전방향이 Pulfrich 효과에 의해, 그리고 양안부등 우세조건에서는 양안부등에 의해 결정되도록 자극을 구성하였다. 2차원 평면에서 진자운동을 하는 진자를 왼쪽 눈에 ND 필터를 착용하고 관찰하면 진자가 시계방향으로, 그리고 오른 쪽 눈에 ND 필터를 착용하고 관찰하면 진자가 반시계 방향으로 회전하는 것으로 지각하는데, Pulfrich 효과를 이용하여 순응자극의 회전방향을 정의할 때에는 이와 같은 원리를 이용하였다. 본 실험에 사용된 ND 필터의 광 투과율과 양안부등의 양은 각 조건에서 실험자가 의도했던 피험자의 순응자극 회전방향 지각을 산출하는 것으로 확인되었으며, 이는 이형철 (2005)의 연구에서도 검증되었다. 실험 3에서 Pulfrich 효과 우세조건과 양안부등 우세조건을 구성할 때의 양안부등과 ND 필터의 광투과율이 각기

상이하였는데, 이는 각각의 우세조건을 하나의 ND 필터로 구현하기에는 현실적으로 구입할 수 있는 ND 필터의 종류에 한계가 있었으며 특히 제한된 크기의 원통체로 양안부등 우세조건을 구현하는 것에 어려움이 있었다. 하지만, 양안부등 우세조건과 Pulfrich 효과 우세조건 조작에 각기 상이한 ND 필터와 양안부등을 사용하는 것이 실험논리에 문제를 유발하지 않을 것으로 판단된다.

피험자들은 실험 에서 한 쪽 눈에 ND 필터를 착용하고 입체경을 통하여 자극을 관찰하였다. 입체그림쌍을 자연스럽게 보기 위하여 입체경이 필요하였으며, 동시에 Pulfrich 효과를 유발하기 위하여 한 쪽 눈에 ND 필터를 착용하도록 하였다. 한쪽 눈에 ND 필터를 착용하는 것이 궁극적으로 원통체의 깊이 및 회전방향 판단에 영향을 줄 것으로 기대되지만, ND 필터 착용자체가 망막상에 형성되는 양안부등에 영향을 주지는 않는다. ND 필터를 착용하는 것이 착용하지 않은쪽 눈에 비하여 망막에 형성되는 자극의 대비를 낮추기는 하겠지만, 망막상에서의 양안부등에 영향을 주지는 않을 것이기 때문이다.

절차 실험 3의 절차는 기본적으로 실험 1 및 실험 2의 절차와 동일하였다. 열여섯 명의 피험자 중에서 여덟 명은 Pulfrich 효과 우세조건에, 그리고 나머지 여덟 명은 양안 부등 우세 조건에서 측정되었다. Pulfrich 효과 우세조건과 양안부등 우세 조건에 노출된 각 각의 여덟 명의 피험자 중에서 네 명은 순응자극이 최종적으로 시계방향으로 회전하는 것으로 지각되는 조건에서, 그리고 나머지 네 명은 반시계방향으로 회전하는 것으로 지각되는 조건에서 측정되었다. 순응검사자극을 이용하여

순응효과를 측정 한 후에 각 각의 피험자들은 순응자극의 회전방향이 어떻게 지각되었는지 질문 받았다.

결과 및 논의

모든 피험자들은 실험자극 조작에서 실험자

가 의도하였던 대로 순응자극의 회전방향을 지각하였다. Pulfrich 우세조건에서 측정되었던 피험자들은 Pulfrich 효과가 순응자극인 원통체의 회전방향을 시계방향으로 정의한 경우에, 순응자극이 시계방향으로 회전하는 것으로 안정적으로 지각하였으며, 반시계 방향으로 정의한 경우에는 반시계 방향으로 회전하는 것

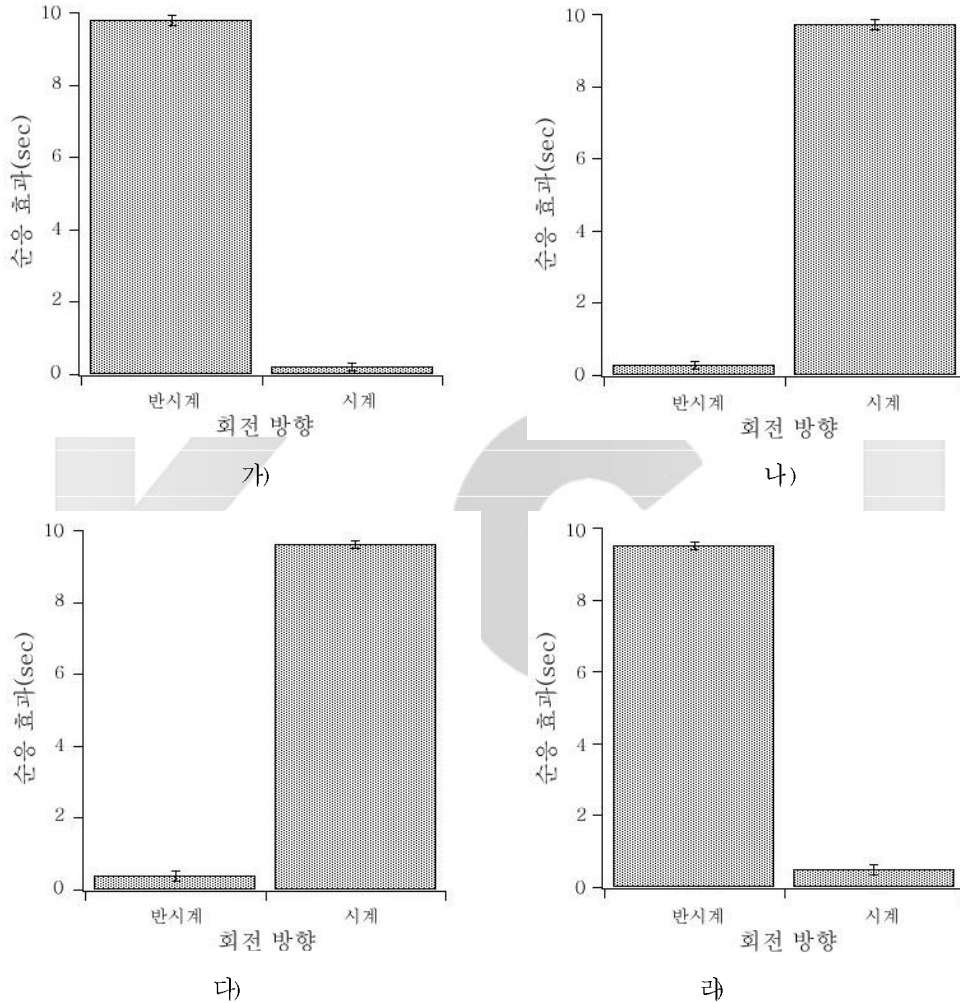


그림 4. 불일치조건에서의 순응효과: 가)와 나)는 Pulfrich 효과 우세조건에서의 순응효과를 나타내고 다)와 라)는 양안부등 우세조건에서의 순응효과를 나타낸다. 가)와 라)는 순응자극인 원통체가 피험자에 의해 시계방향으로 회전하는 것으로 지각된 경우의 순응효과이고, 나)와 다)는 순응자극인 원통체가 피험자에 의해 반시계 방향으로 회전하는 것으로 지각된 경우의 순응효과이다.

으로 지각하였다. 비슷한 결과가 양안부등 우세조건에서도 관찰되었다. 본 연구에서는 불일치 조건만이 포함되었는데, 이형철 (2005)의 연구에 의하면 일치조건 또는 단일조건에서의 원통체의 지각된 깊이가 불일치 조건에서의 원통체의 지각된 깊이보다 상대적으로 컸다. 이형철의 실험결과는 실험 3에 포함된 불일치 조건이 실험 1과 실험 2에 포함된 조건과 상이한 조건이며 연구자가 의도했던 양안부등과 Pulfrich 효과가 각기 상이하게 원통체의 회전방향을 정의한 조건임을 시사한다.

실험 1 및 실험 2에서 관찰된 결과와 마찬가지로 전형적인 순응효과가 관찰되었다. 조건과 관계없이 피험자들은 순응자극 관찰 시에 지각되었던 원통체의 회전방향과 반대방향으로 순응검사자극인 원통체가 회전하는 것으로 지각하였다. 그림 4의 가)와 나)는 Pulfrich 효과 우세조건에서 피험자들의 순응효과를 나타낸다. 양안부등이 순응자극의 회전방향을 반시계방향으로 정의하고 Pulfrich 효과가 순응자극의 회전방향을 시계 방향으로 정의하는 Pulfrich 효과 우세조건에 순응된 피험자들은 회전반향이 모호하게 정의된 순응검사자극이 반시계방향으로 회전하는 것으로 지각하였다. 반대로, 양안부등이 순응자극의 회전방향을 시계 방향으로 정의하고 Pulfrich 효과가 반시계방향으로 정의하는 Pulfrich 효과 우세 조건에 순응된 피험자들은 순응검사자극이 시계 방향으로 회전하는 것으로 지각하였다. 그림 4의 다)와 라)는 양안부등 우세조건에서 피험자들의 순응효과를 나타낸다. Pulfrich 효과가 순응자극의 회전방향을 시계 방향으로, 그리고 양안부등은 반시계 방향으로 정의하는 양안부등 우세조건에 순응된 피험자들은 순응검사자극이 시계 방향으로 회전하는 것으로 지각하

였다. 반대로 Pulfrich 효과가 순응자극의 회전방향을 반시계 방향으로, 그리고 양안부등은 시계방향으로 정의하는 양안부등 우세조건에 순응된 피험자들은 순응검사자극이 반시계 방향으로 회전하는 것으로 지각하였다. 실험 3의 결과는 양안부등과 Pulfrich 효과를 공통으로 처리하는 기제와 SFM을 처리하는 기제가 하나의 신경생리학적 기반을 공유하고 있음을 시사한다.

이형철(2005)은 양안부등과 Pulfrich 효과가 하나의 무선점 원통체의 회전방향을 불일치하게 정의하는 경우에 피험자가 지각하는 원통체의 회전방향은 양안부등과 Pulfrich 효과의 상대적인 강도에 의해 결정된다는 것을 보여 주었는데, 이러한 결과는 양안부등과 Pulfrich 효과를 통합하여 대상의 깊이와 회전방향을 표상하는 공통의 기제가 존재함을 시사한다. 실험 3의 순응자극은 이형철의 연구에 사용된 자극과 동일한 방식으로 구성되었는데, 순응자극으로 사용된 무선점 원통체의 회전방향은 양안부등과 Pulfrich 효과 각각에 의하여 상이하게 정의되었다. 실험 3에서는 양안부등과 Pulfrich 효과에 의하여 상이한 방향으로 회전하도록 정의된 하나의 원통체에 피험자로 하여금 순응하도록 한 후에 SFM 기법에 의하여 회전방향이 모호하게 정의된 원통체의 회전방향을 보고하도록 하면 양안부등과 Pulfrich 효과의 상대적인 강도에 따라서 순응효과가 달리 나타났다. Pulfrich 효과 우세 조건에서는 Pulfrich 효과가 정의하는 순응자극의 회전방향과 반대로 순응검사자극이 회전하는 것으로 지각하였고, 양안부등 우세조건에서는 양안부등이 정의하는 순응자극의 회전방향과 반대로 순응검사자극이 회전하는 것으로 지각하였다. 이러한 실험결과는 양안부등 및 Pulfrich 효과

를 공통으로 처리하는 기제와 SFM을 처리하는 기제가 하나의 공통된 신경생리학적 기제를 공유하고 있음을 시사하며 궁극적으로 Pulfrich 효과, 양안부등 그리고 SFM이 하나의 공통된 신경생리학적 기제에 의해 처리될 가능성을 시사한다.

종합논의

본 연구의 목적은 양안부등, Pulfrich 효과 그리고 SFM이 공통의 신경생리학적 기제에 의하여 처리되는지를 검증하는 것이었다. 이를 위하여 피험자들로 하여금, 양안부등 단독, Pulfrich 효과 단독 또는 양안부등과 Pulfrich 효과의 조합에 의하여 정의된 반투명한 무선점 원통체의 회전방향에 순응토록 하고, SFM 기법에 의하여 회전방향에 모호하게 정의된 원통체의 회전방향 지각을 보고하게 함으로써 순응효과를 측정하였다. 순응자극에의 순응 후에 순응검사자극에서 순응효과가 나타난다면, 이는 순응자극 속성을 처리하는 기제와 순응검사자극 속성을 처리하는 기제가 하나의 공통된 신경생리학적 기반을 공유하고 있음을 시사한다. 양안부등 및 Pulfrich 효과에 의해 정의된 원통체에 노출된 피험자들은 순응자극의 회전방향과 반대로 순응검사자극이 회전하는 것으로 지각하였다. 뿐만 아니라, 순응자극이 Pulfrich 효과와 양안부등에 의해 상이한 방향으로 회전하도록 정의한 경우에 순응효과는 양안부등과 Pulfrich 효과의 상대적인 강도에 따라서 체계적으로 달리 나타났다. 이러한 실험결과는 양안부등, Pulfrich 효과 그리고 SFM이 하나의 신경생리학적 기제를 공유함을 시사한다.

양안부등, Pulfrich 효과 그리고 SFM을 모두

처리하는 하나의 신경생리학적 기제가 존재한다면, 구체적으로 신경생리학적 정보처리기제 중에서 어떤 영역이 그 기능을 담당하는 것일까? 이 영역은 운동방향 정보처리 기제로부터 입력을 받을 것으로 기대되며 양안부등 정보를 처리하여야 한다. Felleman과 Van Essen (1987)은 Macaque 원숭이의 V3 영역에서 깊이와 운동정보를 모두 처리하는 양안부등 세포를 발견하였으며, V3 영역은 MT 영역으로 정보를 입력하는 것으로 알려져 있다 (Van Essen & Maunsell, 1983). 또한 특정 운동방향에 선택적으로 반응하는 것으로 알려진 V1 영역의 신경세포들은 MT 영역으로 투사되는 것으로 알려져 있는데 (Albright, 1984), Nawrot과 Blake (1991)은 정신물리학적 연구를 통하여 양안부등정보와 SFM이 공통의 신경생리학적 기제에 의해 처리될 수 있다는 것을 보여 주었으며 MT 영역을 그 후보로 제안하였다. 최근에는 MT영역이 SFM 정보를 처리함을 보여주는 신경생리학적 연구보고가 있었으며 (Bradley, Qian과 Andersen, 1995; Snowden, Treue, Erickson & Andersen, 1991) Bradley, Chang과 Andersen (1998)은 rhesus 원숭이의 MT 영역에 있는 동일 신경세포가 양안부등에 의하여 정의된 원통체의 회전방향에 선택적으로 반응할 뿐 아니라 SFM기법에 의하여 정의된 원통체의 회전방향에도 선택적으로 반응함을 보여 주었다. 지속적인 신경생리학적 연구가 필요하지만, 아마도 MT 영역이 양안부등과 Pulfrich 효과 그리고 SFM 처리에 공통적으로 관여하는 신경생리학적 기제일 가능성이 높다²⁾.

2) 신경해부학적 연구에 의하면 시각영역에서의 각 부위별 연결은 일방향적이지 않고 양방향적인 것으로 알려져 있다. 따라서 순응연구결과만으로 양안부등, Pulfrich효과 그리고 SFM이 하나의 시각피

양안부등, Pulfrich 효과 그리고 SFM이 구체적으로 어떤 신경생리학적 경로를 거쳐서 공통의 신경생리학적 기제에 의해 처리되는지는 현재까지의 연구로는 확정적으로 알 수 없다. 각 각이 독립적인 처리기제를 지니고, 각 처리기제의 출력이 하나의 공통된 신경생리학적 기제에서 통합되는 것인지, 아니며, 세 가지 모두가 하나의 처리기제에 의해 모두 처리되는 것인지는 추후의 연구를 통하여 밝혀져야 할 것이다. 현재까지의 연구로서 짐작할 수 있는 것은, 양안부등과 SFM, Pulfrich 효과와 SFM, 그리고 세 가지 모두를 공통적으로 처리하는 신경생리학적 기제가 존재할 가능성이 높다는 것이다.

참고문헌

- 이형철 (2005). 회전방향과 깊이 지각에서의 양안 부등과 Pulfrich 효과의 상호작용. 심사중.
- Albright, T. D. (1984). Direction and orientation selectivity of neurons in visual area MT of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 52, 1106-1130.
- Bradley, D. C., Chang, G. C., & Andersen, R. A. (1998). Encoding of three-dimensional structure-from-motion by primate area MT neurons. *Nature*, 392, 714-717.
- Bradley, D. C., Qian, N., & Andersen, R. A. (1995). Integration of motion and stereopsis in middle temporal cortical area of macaques. *Nature*, 373, 609-611.
- 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.
- Cutting, J. E., & Vishton, P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein and S. Rogers (Eds.), *Perception of Space and Motion*. New York: Academic Press.
- 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.
- Julesz, B., & White, B. (1969). Short term visual memory and the Pulfrich phenomenon. *Nature*, 222, 639-641.
- Nawrot, M., & Blake, R. (1991). The interplay between stereopsis and structure from motion. *Perception & Psychophysics*, 49, 230-244.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision Science*. London, England: MIT Press.
- Pelli, D. G. (1997). The Videll toolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- Qian, N. (1994). Computing stereo disparity and motion with known binocular cell properties. *Neural Communications*, 6, 390-404.
- Qian, N. & Andersen, R. A. (1997). A physiological model for motion-stereo

질 부위에 수렴되는지를 단정하기 어렵다.

- integration and a unified explanation of Pulfrich-like phenomena. *Vision Research*, 37, 1683-1698.
- Rogers, B., & Anstis, S. M. (1972). Intensity versus separation 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.
- Snowden, R. J., Treue, S., Erickson, R., & Andersen, R. A. (1991). The response of area MT and V1 neurons to transparent motion. *Journal of Neuroscience*, 11, 2768-2785.
- Van Essen, D. C., & Maunsell, J. H. (1983). Hierarchical organization and functional streams in the visual cortex. *Trends in Neuroscience*, 6, 370-375.
- Wallach, h., & O'Connell, D. N. (1953). The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*, 45, 205-217.

1차원고 접수: 2005. 10. 6

최종게재결정: 2005. 12. 8



The Effects of Adaptation to Pulfrich Effect and Binocular Disparity on the Perception of the Rotation Direction of an Ambiguous Cylinder Defined by Structure from Motion

Hyung-Chul O. Li

Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

The purpose of the present research was to examine whether Pulfrich effect, binocular disparity and SFM (structure-from-motion) were processed by a common neurophysiological mechanism. Subjects adapted to a rotating semitransparent random dot cylinder whose rotation direction was defined by binocular disparity, Pulfrich effect or combination of them and reported the rotation direction of adaptation test stimulus, another rotating cylinder whose rotation direction was ambiguously defined by SFM. Subject perceived that the test stimulus rotated in the direction opposite to that of adapting stimulus defined by binocular disparity or Pulfrich effect. Interestingly, the adaptation effect changed systematically depending on the relative strength of binocular disparity and Pulfrich effect when the directions of adapting stimuli defined by them are in conflicts. These results imply that binocular disparity, Pulfrich effect and SFM are processed by a common neurophysiological mechanism.

Keywords: Pulfrich effect, binocular disparity, adaptation, SFM