

단안 방향 지각에 관여하는 안구 위치 정보

박 권 생

계명대학교 심리학과

두 개의 실험을 통해 단안 방향 판단에 이용되는 안구 위치 정보의 출처가 원심성인지 아니면 구심성인지를 검증하였다. 경직 후 상승(post-tetanic potentiation) 효과가 발효 중인 상태에서 phoria를 유발시켜 구심성 정보(실제 안구 위치)와 원심성 정보를 동시에 변화시키고, 경직 후 상승에 따른 방향 착시에 의해 phoria에 의한 단안 방향 착시의 정도가 어떻게 조정되는지를 검토하였다. 경직 후 상승에 따른 방향 착시의 방향과 phoria에 의한 단안 방향 착시의 방향을 상반되게 한 실험 1에서는 단안 방향 착시의 정도가 경직화 후 상승에 따른 방향 착시에 의해 감소되었다. 그러나, 이 두 방향 착시의 방향을 같게 한 실험 2에서는 단안 방향 착시의 정도가 phoria만으로 경직 후 상승효과만으로도 설명할 수 없을 만큼 증가하였다. 이런 결과는 단안 방향 결정에 이용되는 안구 위치 정보가 원심성임을 암시한다.

주제어 단안 방향 지각, 원심성 이론, 구심성 이론, 안구 위치 정보, phoria

시각을 통한 관찰자 중심의 방향 지각에 기여하는 안구의 위치 정보(extra-retinal eye position information)는 외 안근(extraocular muscles)의 상태를 감지하는 자기수용기(proprioceptor)에서 제공될 수도 있고, 안구를 움직이기 위해 외 안근으로 내려진 운동 명령(motor command)에서 제공될 수도 있다. 관찰자 중심의 방향 지각에 이용되는 안구 위치 정보가 전자라는 견해를 구심성 이론(inflow theory)이라 하며, 후자라는 견해를 원심성 이론(outflow theory)라 한다(상세한 것은 Bridgeman & Stark, 1991; Matin, 1986를 참고하기 바람). 이 연구는 단안 방향 지각에 이용되는 안구

위치 정보가 구심성인지 원심성인지를 구명하기 위해 설계되었다.

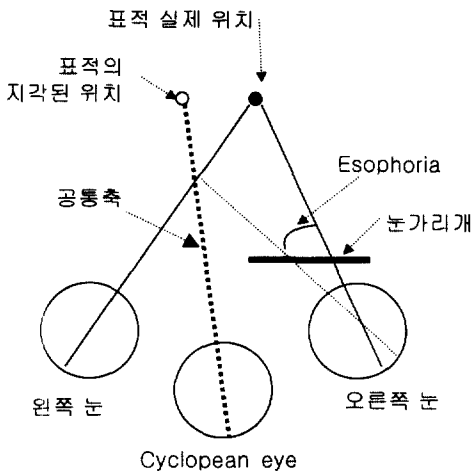
표적을 응시하는 동안 두 눈 중 한 눈을 가리면, 표적의 위치가 원래 위치로부터 이탈한 것으로 지각된다. 다시 말해, 관찰자를 중심으로 한 표적의 방향 지각에 착오가 발생한다. 이 착오는 한 눈으로 표적을 응시하기 때문에 야기되는 현상이므로 단안 방향 착시라 부르기로 한다. 우선 단안 방향 착시를 구체적으로 묘사해야 하는데, 이를 위해서는 먼저 Hering의 시각 방향 법칙(Hering's laws of visual directions)을 소개할 필요가 있다. 다음은 Ono (1991; Ono & Mapp, 1995)가 요약한 Hering의

자료수집에 수고를 아끼지 않은 예영주 그리고 세밀하게 심사해 주신 심사위원들께 진심으로 감사드립니다.

교신저자 주소: 박권생, 대구 달서구 신당동 1000번지 계명대학교 사회과학대학 심리학과, 〒704-701

(e-mail: kspark@kmu.ac.kr)

a



b

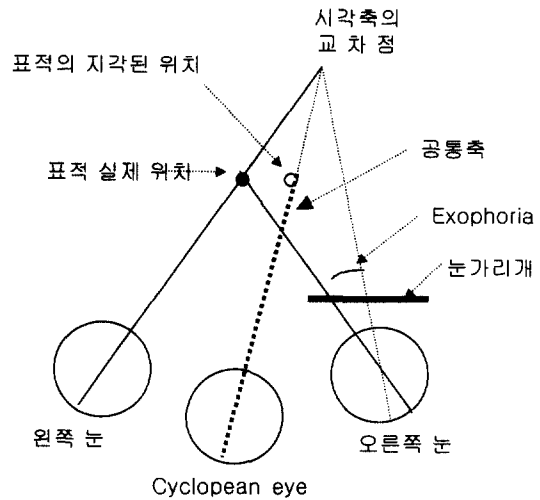


그림 1. 가리운 오른쪽 눈이 좌측으로 회전했을 때(a)와 우측으로 회전했을 때(b) 표적의 지각된 위치(방향)가 변하는 양상(오감도). 그림 1a는 esophoria에 의해 공통 축이 좌측으로, 그림 1b는 exophoria에 의해 공통 축이 우측으로 회전했을 때 표적의 지각된 방향(위치)이 변하는 모양을 머리 위에서 내려다 본 것이다. (이 그림은 표적이 자극 면에 위치한 것으로 지각된다는 전제를 기초로 작도한 것임)

시각 방향 법칙 중 이 연구에 직결된 법칙 두 개만을 재 진술한 것이다:

1. 중심점의 법칙: 모든 물체의 시각 방향은 cyclopean 눈을 중심(egocenter)으로 명시된다.
2. 공통 축의 법칙: 시각 축 상에 위치한 물체는 공통 축 상에 위치한 것으로 지각된다.

여기서 cyclopean 눈은 두 눈 중간의 horoptor 상에 위치한 가상의 눈으로 정의되며, 공통 축(common axis)은 cyclopean 눈의 결점(nodal point)과 두 눈의 시각 축이 교차하는 점을 통과하는 선으로, 그리고 주 시각 선(principal visual line)이라고도 하는 시각 축(visual axis)은 중심와의 중앙과 결점을 통과하는 선으로 각각 정의된다.

이제, 이 두 법칙을 기초로 단안 방향 착시를 보다 구체적으로 기술해보자. 머리를 고정

시킨 채 정면의 표적을 응시하는 관찰자의 두 눈 중 오른쪽 눈을 가리개로 가렸다고 하자(그림 1 참조). 그러면 두 눈의 자극이 단절되기(dissociated) 때문에 가리운 오른쪽 눈의 위치(시각 축)가 가리기 전의 위치(표적을 향한 위치)로부터 좌측이나 우측으로 회전하게 된다. 이때 가리지 않은 왼쪽 눈의 시각 축은 변하지 않으므로 두 시각 축의 교차점이 표적의 좌(우)측으로 이동하게 된다. Cyclopean 눈의 위치는 고정되어 있기 때문에, 이 교차점의 이동은 공통 축의 회전을 초래한다. 이때도 표적은 여전히 왼쪽 눈의 시각 축 상에 위치하므로, 표적은 공통 축 상에 위치한 것으로 지각되어야 한다(공통 축의 법칙). 따라서 표적은 실제 위치(정면)로부터 좌(우)측으로 이탈된 것으로 지각된다(Ono, 1979; Ono & Gonda, 1978; Ono & Weber, 1981; Ono, Wilkinson, & Muter, 1972; Park & Shebilske, 1991; Barbeito & Simpson, 1991과 Howard &

Rogers, 1995도 보라). 여기서 주목할 것은 관찰자가 응시하는 물체는 공통 축 상에 위치하는 것으로 지각되며, 이 공통 축은 두 눈의 위치에 의해 결정된다는 점이다.

위의 예에서처럼, 두 눈의 자극이 단절될 때 가리운 눈의 위치가 가리기 전의 위치로부터 좌(우)측으로 회전하는 경향성을 phoria라고 한다(Duke-Elder, 1973; Howard & Rogers, 1995). 위의 예에서도 알 수 있듯이, 가리운 눈은 phoria에 의해 그 위치가 변하지만, 가리지 않은 눈의 위치는 변하지 않는다. 그러므로, 단안 방향 착시란 가리운 눈에 발생한 phoria에 의해 야기되는 현상인 것이다(Park & Shebilske, 1991). 단안 방향 착시가 관심을 끄는 이유도 바로 이 착시가 phoria에 의해 유발된다는 데 있다. Phoria는 전형적인 불수의적 안구 움직임이기 때문에 불수의적 안구 움직임은 시각중추에 등록되지 않는다고 보는 원심성 이론은 이 현상을 쉽게 설명할 수가 없다. 하지만, phoria 안구 움직임도 외 안근의 자기수용기에 의해 포착된다고 보는 구심성 이론으로는 이 현상이 명쾌하게 설명된다. 따라서 이 현상은 구심성 이론을 지지하는 강력한 증거가 될 수도 있다.

하지만, Park & Shebilske(1991)는 Hering의 동등 자극 법칙(Hering's law of equal innervation)을 원용하면 원심성 이론으로도 단안 방향 착시를 설명할 수 있다고 제안하였다. Hering의 동등 자극 법칙(Hering's law of equal innervation)에 의하면, 한 눈이 회전할 때는 반드시 다른 눈도 동시에 회전하며, 두 눈의 회전 속도 및 크기까지도 동일하지만 회전 방향만은 반대일 수 있다(Semmlow, Yuan, & Alvarez, 1998도 보라). 같은 방향 회전은 동향 운동계(version system)가 그리고 반대 방향 회전은 반향 운동계(vergence system)가 관장한다. 예를 들어, 그림 2에서처럼 가리운 오른쪽 눈이 phoria에 의해 우측으로 $\angle b$ 만큼 회전하면, 이 회전은 반향 운동계의 작동이기

때문에 왼쪽 눈에도 $\angle b$ 만큼 좌측으로 회전하라는 신경자극(innervation)이 가해진다. 이 신경자극에 따라 왼쪽 눈이 좌측으로 회전하면 표적을 주시할 수 없게되므로 왼쪽 눈을 우측으로 $\angle b$ 만큼 회전시키라는 명령이 동향 운동계에 의해 즉시 하달된다. 여기서 왼쪽 눈을 좌측으로 회전시키려는 신경자극은 불수의적이고, 이 신경자극을 상쇄하기 위한 우측 회전 명령은 수의적이라는 사실을 주목해야 한다. 따라서, 수의적(원심성) 정보만 등록된다고 보는 원심성 이론에 의하면, 왼쪽 눈은 실제로 표적을 향하고 있지만, 등록된 위치는 표적의 우측으로 $\angle a(\angle a = \angle b)$ 만큼 회전한 상태가 될 것이다.

한편, 이 예에서 왼쪽 눈을 우측으로 회전시키라는 명령은 동향 운동계의 명령이므로 왼쪽 눈뿐만 아니라 오른쪽 눈도 우측으로 회전하게 만든다. 그러므로 오른쪽 눈의 우측 회전은 반향 운동계에 의한 회전(phoria)과 동향 운동계의 명령에 의한 회전으로 이루어진 것이 된다. 반향 운동계의 회전은 불수의적이고 동향 운동계의 회전만 수의적이기 때문에 원심성 이론에 따르면, 오른쪽 눈은 실제로 표적으로부터 $\angle b + \angle c$ 만큼 우측으로 기울어져 있지만, 등록된 위치는 표적으로부터 $\angle b(\angle b = \angle c)$ 만큼 우측으로 기울어진 상태가 될 것이다. 다시 말해, phoria에 따른 안구 회전 중 절반만 회전한 것으로 등록될 것이다. 그러므로 원심성 이론에 따라 설정된 공통 축은 표적의 우측으로 $\angle b$ 만큼 기울어지게 된다(그림 2 참조).

이에 비해, 구심성 이론에서는 모든 안구 움직임이 등록된다고 보는데, 이는 실제 안구 위치가 곧 등록된 안구 위치라는 의미로 해석된다. 그러므로 그림 2와 같은 조건에서 왼쪽 눈의 위치에는 변함이 없지만, 오른쪽 눈은 $\angle b + \angle c$ 만큼 회전한 것으로 등록될 것이다. 따라서 구심성 이론에 따라 설정된 공통 축도 역시 표적의 우측으로 $\angle b$ 만큼 기울어지게 된다.(그림 2참조).

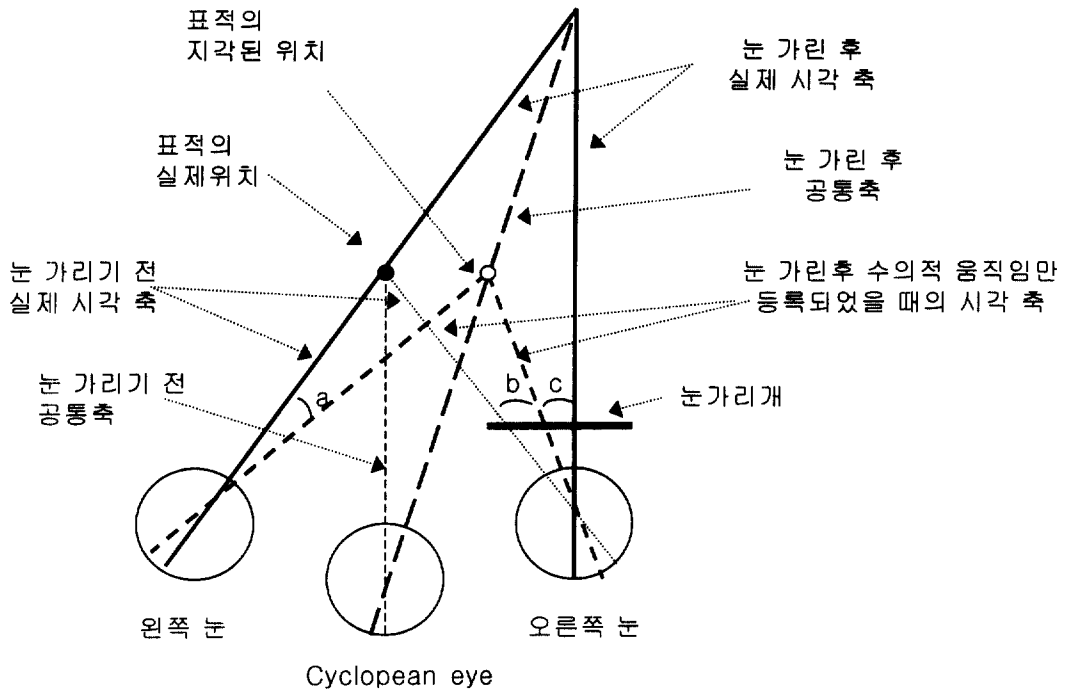


그림 2. 가리운 오른쪽 눈에 발생한 exophoria와 그에 따른 단안 방향 착시 및 이 착시에 기여하는 안구 위치 정보. 표적은 왼쪽 눈의 시각 축 상에 위치하므로 정면에서 우측으로 기울어진 공통 축 상에 위치하는 것으로 지각된다(단안 방향 착시). 구심성 이론은 모든 안구 위치 변화가 등록된다고 보기 때문에, 눈을 가린 후에도 실제 시각 축(굵은 실선)을 기초로 공통 축이 설정된다고 본다. 이에 비해 원심성 이론은 수의적 움직임만 등록된다고 보기 때문에, 이 조건에서는 등록된 시각 축과 실제 시각 축이 일치하지 않게 된다. 구체적으로, 왼쪽 눈의 실제 위치(시각 축)는 표적을 향하고 있지만 표적으로부터 $\angle a$ 만큼 회전한 것으로 등록되며, 오른쪽 눈의 실제 위치는 표적으로부터 $\angle b + \angle c$ 만큼 회전된 상태이지만 표적으로부터 $\angle b$ 만큼 회전한 것으로 등록된다(자세한 설명은 본문 참조). 따라서 원심성 이론에 의하면, 눈 가린 후 수의적 움직임만 등록되었을 때의 시각 축(굵은 점선)을 기초로 공통 축이 설정된다($\angle a = \angle b = \angle c$). 그림에서 표적의 지각된 위치는 표적이 자극 면에 위치한 것으로 지각된다는 전제 하에 그려진 것이다.

이 두 가지 설명 중 어느 것이 더 타당한지를 결정하는 것이 이 연구의 목적이었다. 이 목적을 달성하기 위해서는 공통 축 설정에 이용되는 안구 위치 정보가 구심성인지 원심성 인지를 구명해야 한다. 공통 축 설정에 관여하는 안구 위치 정보의 본질을 구명하기 위해 경직 후 상승 작용을 이용하였다. 시선을 주변 시야의 물체에 고정시킨 채 3-5분이 지나면, 그 후 얼마 동안은 안근에 내려지는 신경자극

이 그 전보다 증가하여 안구의 기본(default) 위치가 시선을 고정시켰던 쪽으로 기울어지는 경향이 있다. 이처럼 경직화 후에 안근에 가해지는 신경자극이 증가하는 현상을 경직 후 상승(post-tetanic potentiation)이라 한다. 이 효과에 따른 안구의 기본 위치 변화는 등록되지 않는 것으로 밝혀져 있다(Paap & Ebenholtz, 1976). 때문에, 경직 후 상승을 유발하면 안구의 실제 위치와 등록된 위치가 상이한 조건이

생성된다. 예를 들어 보자. 정면의 우측(+) 45도 방향에 위치한 자극물을 3분간 주시했다니 경직 후 상승에 의해 두 눈의 기본 위치가 +1도 회전했다 하자. 그러면 정면의 표적을 주시하기 위해서는 두 눈을 좌측(-)으로 1도 회전시켜야 한다. 경직 후 상승에 따른 안구 기본 위치 변화(+1도 회전)는 등록되지 않기 때문에, 두 눈은 실제로 정면의 표적을 향하고 있는데도, 정면에서 -1도 회전된 상태로 등록된다. 그 결과, 표적은 정면으로부터 -1도 기울어진 것으로 지각된다(Paap & Ebenholtz, 1976을 보라). 이 방향 판단 착오는 순수한 원심성 정보의 변화만을 반영한다. 그러므로 경직 후 상승을 유도한 후 그에 따른 방향 판단 착오를 측정하면, 안구의 실제 위치 및 실제 위치와는 상이한 등록된(원심성) 안구 위치의 변화도 추정할 수가 있다.

실험 1

실험 1에서는 경직 후 상승에 따라 안구의 기본 위치가 기울어지는 방향과 phoria에 따라 안구가 회전하는 방향을 동일하게 했을 때 단안 방향 착시가 어떻게 변하는지를 검토하였다. 이러한 조건에서 두 이론이 어떤 예측을 하는지를 예를 들어 고려해보자. 우측 시야에 제시된 자극물을 3분간 응시케 하여 두 눈의 기본 위치가 정면의 우측으로(+) 2도 기울어졌다 하자. 이 상태에서 정면의 표적을 응시하면, 표적은 정면의 좌측으로(-) 2도 이탈된 것으로 지각될 것이다. 이는 두 눈의 실제 위치는 표적을 향하고 있지만 -2도 회전한 상태로 등록되었음을 반영한다. 이때 오른쪽 눈을 가리고 왼쪽 눈으로만 표적을 응시하게 했더니, 가리운 오른쪽 눈이 phoria에 의해 정면에서 +4도 회전했다 하자. 원심성 이론은 phoria에 따른 안구 움직임 중 절반은 등록된다고 본다(그림 2 참조). 따라서 등록된 원심성 정보는

경직 후 상승에 의한 -2도와 phoria에 의한 +2도가 될 것이고 이 둘을 합하면 0이 된다. 결국, 원심성 이론에 의하면, 두 눈은 표적을 향하고 있는 것으로 등록될 것이고, 그 결과 표적은 정면에 위치한 것으로 지각될 것이다.

한편, 왼쪽 눈은 여전히 표적을 응시하고 있기 때문에 왼쪽 눈의 실제 위치는 표적을 향하고 있다. 그러나 오른쪽 눈의 실제 위치는 phoria에 의해 +4도 회전한 상태이다. 그러므로 안구의 실제 위치에 의해 공통 축이 설정된다고 보는 구심성 이론에 따르면 표적이 정면의 우측으로 이탈된 것으로 지각되어야 한다.

이처럼, 경직 후 상승이 발효 중인 상태에서 phoria를 유발하면, 원심성 이론은 단안 방향 착시가 경직 후 상승 효과에 따라 체계적으로 변할 것이라고 예측하는데 반해, 구심성 이론은 경직 후 상승 효과의 영향을 받지 않을 것이라고 예측한다. 실험 1에서는 경직화를 위한 적응 자극으로 가린 눈 쪽의 LED를 제시하여, 경직 후 상승 작용의 방향을 phoria의 방향과 일치되게 조작함으로써, 이들 두 예측의 타당성을 검증하였다.

방법

관찰자. 시력이 양안 모두 1.0 이상인 성인 남녀 22명을 권유하여 실험에 참여시켰다.

자극물. 세 개의 빨간색 LED를 자극물로 이용하였다. 그 중 정면에 위치한 것이 표적이었다. 표적을 중심으로 좌, 우측 45도 방향에 위치한 두 개의 LED는 경직 후 상승 작용을 유발하기 위해, 그리고 과제 수행 시 경직 후 상승에 의해 표적이 움직이는 것처럼 보이는 효과를 방지하기 위해서만 이용되었다. 자극면(stimulus plane)과 각막 면(corneal plane) 사이의 거리는 20cm였다.

도구 및 절차. 실험은 자극물 이외에는 아무 것도 보이지 않는, 빛이 완전히 통제된 부스(booth)에서 개별적으로 실시되었다. 관찰자

에게 실험 과제 및 과제 수행 시 주의해야 할 사항을 숙지시키고 부스 안에 앉힌 후, 지적 연습부터 실시하였다. 정면 및 그 좌우의 여러 곳을 무선으로 선정하여, 표적 LED를 제시하고 표적의 위치를 오른손 검지로 가리켜 보라고 지시하였다. 관찰자는 자신의 손가락을 볼 수 없기 때문에(open-loop pointing), 지적 오차가 심한 경우 실험자가 관찰자의 손가락을 옮겨 정확한 위치를 가르쳐 주었다. 5회 이상의 연습 시행을 통해 관찰자의 지적 반응에 일관성이 나타나면 본 시행이 시작되었다.

본 시행은 두 단계로 진행되었는데 첫 단계는 양안 지적 과제로 시작되었다. 두 눈으로 표적을 볼 수 있는 조건에서 관찰자의 정면에 제시된 표적에 눈을 고정시키고 표적의 위치를 오른손 검지로 지적하도록 하였다. 이 지적 과제는 4회 반복되었다. 각 시행 직전에 실험자가 관찰자의 손가락을 표적의 좌 또는 우측 일정하지 않은 곳에 옮겨 놓음으로써, 과제 수행에 손가락 위치에 관한 기억을 이용할 수 없도록 하였다. 관찰자가 지적한 손가락의 위치는 potentiometer로 기록되었다. 이 양안 지적 과제의 결과는 관찰자를 중심으로 한 표적의 지각된 방향을 반영하는 것이기 때문에, 단안 방향 착시 및 적응효과(경직 후 상승 효과)를 확인하기 위한 기준치(base line)로 이용되었다.

양안 지적 과제가 끝나자마자, 표적을 응시하는 관찰자의 두 눈 중 한 눈앞에는 적색 필터를 그리고 다른 눈앞에는 녹색 필터를 위치시켰다. 표적이 빨강 LED였기 때문에 적색 필터 뒤의 눈으로는 표적을 응시할 수 있지만, 녹색 필터 뒤의 눈으로는 표적을 볼 수 없게 된다. 따라서 녹색 필터에 가려 표적을 보지 못하는 눈은 phoria에 의해 그 위치가 변하게 된다. 하지만 적색 필터 뒤의 눈은 표적을 응시해야 하기 때문에 움직이지 않는다. 필터로 눈을 가린 15초 후, phorometer를 이용하여 녹색 필터로 가린 눈의 위치변화를 측정하였다(측정 절차 및 원리에 관한 것은 부록 참조).

2회의 측정을 통해 녹색 필터로 가린 눈의 위치가 변했다는 것을 확인한 후, 곧 지적 과제를 수행하였다. 이 지적 과제는 한 눈(적색 필터 뒤의 눈)으로만 표적을 응시하는 조건(단안 조건)에서 진행되었다는 점 외에는 양안 지적 과제의 수행절차와 동일하게 수행되었다. 이 단안 지적 과제는 단안(적색 필터 뒤의 눈)으로만 정면의 표적을 응시할 때 그 표적이 지각된 방향(관찰자 중심의 방향)을 측정하기 위한 것이었다. 이 결과는 경직 후 상승 작용을 유발하기 전에 발생하는 단안 방향 착시를 계산하는 데 이용되었다. 단안 지적 과제가 끝나자마자 녹색 필터로 가린 눈의 위치를 2회 더 측정(2차 phoria 측정)하였다.

둘째 단계는 경직 후 상승을 유발하기 위한 적응과정으로 시작되었다. 정면의 표적 LED를 끈 상태에서, 단안 지적 과제에서 정면에서 가린 눈 쪽으로 45도 각도에 위치한 LED만을 제시하고는 3분간 응시하게 하여 안구의 기본 위치가 phoria와 같은 방향으로 기울어지게 하였다. 이때는 두 눈앞에 위치시켰던 필터를 모두 제거하여 제시된 LED를 양안으로 응시할 수 있었다. 3분간의 적응과정이 끝나면 곧이어 첫 단계에서와 동일한 절차가 진행되었다. 즉, 1차 양안 지적 과제를 4회 수행한 후, 적색 필터와 녹색 필터를 각각 적응 전과 동일한 눈앞에 위치시키고, phoria에 의한 안구 위치변화를 2회 측정하였다(1차). 그리고 단안 지적 과제를 4회 수행하였으며, 그 후 phoria에 의한 안구 위치변화를 2회 더 측정하였다(2차). 마지막으로 양안 지적 과제를 4회 더 수행하는 것으로 실험을 마감하였다. 마지막 양안 지적 과제는 물론 필터를 제거한 상태에서 수행되었다.

이 둘째 단계의 양안 지적 과제는 경직 후 상승 효과(적응효과)가 유발되었는지, 되었으면 그 크기가 얼마인지를 확인하기 위한 것이었다. 단안 지적 과제는 적응효과가 발효중인 상태에서 단안(적색 필터 뒤의 눈)으로 지각된

표적의 방향(즉, 단안 방향 착시)을 측정하기 위한 것이었다. 양안 지적 과제를 단안 지적 과제 수행 전, 후에 각각 4 회씩 수행한 것은 시간이 경과함에 따라 적응효과가 소멸하므로 이들 두 측정치의 평균이 보다 정확한 적응효과라고 판단되었기 때문이다.

동일 관찰자의 왼쪽 눈을 통한 단안 방향 지각과 오른 쪽 눈을 통한 단안 방향 지각을 측정하기 위해서는 눈앞에 놓이는 필터의 색상을 교체해야 했기 때문에, 각 관찰자에 대한 실험을 전반부와 후반부로 나누어 실시하였다. 관찰자 중 절반은 전반부에 왼쪽 눈앞에 적색 필터, 오른쪽 눈앞에 녹색 필터를 위치시켰고, 나머지 절반은 왼쪽 눈앞에 녹색 필터, 오른쪽 눈앞에 적색 필터를 위치시켰다. 후반부에는 각 필터의 위치가 전반부와는 반대되게 하였다. 동일 관찰자에 대한 전반부 실험과 후반부 실험간의 최소 시간 간격은 2시간이었다.

과제를 수행하는 동안 머리가 움직이는 것을 예방하기 위해 턱받이 위에 턱을 위치시키도록 하였으며, 각막 면을 얇은 합판으로 막은 후 5mm너비의 가로지기 틈을 통해 자극을 주시하게 함으로써 머리가 움직이면 자극물이 보이지 않게 하였다. 양안, 단안 지적과제를 수행할 때는 정면에 제시된 표적 LED와 그 좌 우 45도 각도에 각각 하나씩 두 개의 LED를 동시에 제시되었다. 이들 두 LED를 제시한 이유는 경직화를 위한 적응과정이 끝난 직후에 표적 LED만을 제시하면 표적이 계속 움직이는 것처럼 보여 지적 과제수행이 불가능하기 때문이었다. 표적과는 거리가 먼 주변에 이 같은 자극물을 제시하여 표적이 움직인다는 느낌이 사라지게 하였다. 물론 관찰자의 과제는 정면에 위치한 표적 LED의 위치를 지적하는 것이었다.

결과 및 논의

먼저, 관찰자별 세 가지 측정치(phoria, 양안

지적과제, 단안 지적과제)의 평균을 적응 전과 후 그리고 가린 눈별로 계산하였다. 적응 전 양안 지적과제의 평균을 표적의 지각된 위치로 정하고, 적응효과 및 지적오차 계산을 위한 기준치로 이용하였다. 경직 후 상승작용에 따른 방향 착시(적응효과)는 적응 후 측정된 8회의 양안 지적과제의 평균을 이 기준치에서 제한 값으로 정하였으며, 적응 전과 후의 지적오차는 각각 적응 전과 후의 단안 지적과제의 평균에서 이 기준치를 제한 값으로 정하였다. 그 다음, 경직 후 상승 효과가 기록되지 않은 관찰자는 실험자의 지시를 정확하게 이행하지 않은 것으로 판단되어 자료처리에서 제외시켰다. 이렇게 제외된 관찰자는 좌측 눈을 가린 조건에서 5명, 우측 눈을 가린 조건에서는 3명이었다. 표 1은 나머지 관찰자의 자료를 요약한 것이다.

적응 전 phoria와 단안 방향 착시

표 1에서 우선 적응 전에 기록된 phoria와 지적오차(단안 방향 착시)를 보면, 왼쪽 눈을 가린 조건에서는 왼쪽 눈이 좌측으로 평균 7.4도 회전하였고, 그 때 정면에 위치한 표적이 정면의 좌측으로 1.7도 기울어져 보였음을 알 수 있다. 그리고, 오른쪽 눈을 가린 조건에서는 오른쪽 눈이 우측으로 평균 7.7도 회전하였고, 그 때는 표적이 정면의 우측으로 약 2.7도 기울어져 보였다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 눈과 표적간의 거리가 50cm 이내의 가까운 조건에서는 대개 exophoria가 기록되며, 이런 경우 정면의 표적이 가리운 눈 쪽으로 기울어져 보인다는 여러 선행 연구의 결과(예, Ono & Gonda, 1978; Ono & Weber, 1981; Park & Shebilske, 1991)와 일치하는 것으로, 단안 방향 착시가 phoria와 함께 변하고 있음을 말해준다.

적응효과와 적응 후 phoria

적응 전과 후에 수행된 양안 지적 과제 수

표 1. Phoria, 경직화 후 상승 효과 (적응 효과), 그리고 지적 오차(degree)

녹색 필터로 가린 눈	적응 전			적응 후	
	phoria	지적오차	적응효과	phoria	지적오차
좌측 눈					
평균(n=17)	-7.4	-1.7	+2.6	-7.3	+1.7
표준편차	3.6	2.7	3.6	3.8	4.1
우측 눈					
평균(n=19)	+7.7	+2.7	-2.5	+7.1	-1.0
표준편차	3.1	4.3	2.3	3.0	4.8
표준편차	3.1	4.3	2.3	3.0	4.8

주: “-”부호와 “+”부호는 각각 정면의 좌측과 우측을 나타낸다.

행의 차이로 계산된 경직 후 상승 효과(적응효과)는 좌측 눈과 우측 눈을 가린 조건에서 각각 +2.6도와 -2.5도로 기록되었는데, 이 효과는 둘 다 유의하였다(전자의 경우 $t(16) = 3.00, p < .01$; 후자의 경우 $t(18) = 4.79, p < .01$). 이런 결과는 경직화를 위한 적응 과정이 성공적으로 전개되었음을 반영한다.

적응 후에 기록된 phoria를 살펴보면, 왼쪽 눈을 가린 경우에는 가리운 왼쪽 눈이 좌측으로 7.3도 회전하였으며, 오른쪽 눈을 가린 조건에서는 오른쪽 눈이 우측으로 7.1도 회전하였음을 알 수 있다. 그런데 전자의 경우 정면의 표적이 우측으로 1.7도 기울어져 보였으며, 후자의 경우에는 정면의 좌측으로 1.0도 기울어져 보였던 것으로 나타났다. 즉, 가린 눈에 관계없이 phoria의 방향과 단안 방향 착시의 방향이 상반되는 것으로 기록되었다. 이러한 결과는 적응 전에 기록된 phoria 및 지적오차의 양상과는 판이한 것으로, 적응 후 지적 과제 수행이 적응 전 수행과 달라졌음을 의미한다.

Phoria와 지적오차의 적응 전, 후 차이가 갖는 의미

적응 전과 후에 기록된 phoria를 비교해보면 가린 눈에 관계없이 별 차이가 없으며, 기록된 작은 차이는 두 조건 모두 우연에 의한 차이

로 밝혀졌다(왼쪽 눈을 가린 조건 $t(16) < 1$; 오른쪽 눈을 가린 조건 $t(18) = 2.0, p > .05$). 적응 전과 후에 기록된 phoria에 차이가 없다는 결과는 적응 전과 후에 기록된 실제 안구 위치가 다르지 않다는 것을 의미한다. 따라서, 구심성 이론의 주장처럼, 공통 축이 안구 실제 위치에 의해 결정된다면 적응 전과 후의 지적오차(단안 방향 착시)에는 차이가 없어야 한다.

한편, 앞서 살펴본 경직 후 상승 효과, 즉 적응효과가 유의하다는 것은 양안으로 지각된 표적의 위치가 적응 전과 후에 달라졌음을 의미하는 것으로, 등록된 안구 위치가 실제 안구 위치와는 다르다는 의미를 내포한다. 따라서 원심성 이론의 주장처럼, 원심성 정보에 따라 공통 축이 결정된다면 적응 후 지적오차는 적응 전 지적오차로부터 이탈되어야 하며, 이탈 방향은 적응효과의 방향과 같아야 한다.

실제로 적응 전과 후에 기록된 지적오차간의 차이를 계산하면, 좌측 눈을 가린 조건과 우측 눈을 가린 조건에서 각각 3.4도와 3.7도가 되며, 이는 둘 다 유의한 차이로 드러났다(전자의 경우 $t(16) = 3.25, p < .01$; 후자의 경우 $t(18) = 3.06, p < .01$). 또한 적응 후 지적오차가 적응 전 지적오차로부터 이탈한 방향도 두 조건 모두 적응효과의 방향과 일치하였다. 그러므로 실험 1의 주요 결과는 구심성 이

론보다는 원심성 이론의 예측과 일치한다고 할 것이다.

Hering의 시각 방향 법칙과 단안 방향 착시의 크기

Hering의 시각 방향 법칙을 기초로 작도한 그림 2를 보면, 적응 전에는 단안 방향 착시의 크기가 phoria 크기(정확하게는 가리운 눈이 회전한 정도)의 절반 정도여야 한다는 것을 알 수 있다. 실험 1에서 측정된 phoria는 가리운 눈이 실제로 회전한 정도를 반영하므로 Hering의 법칙에 따르면, 왼쪽 눈을 가린 조건에서는 표적이 정면의 좌측으로 3.7도(7.4도의 절반), 오른쪽 눈을 가린 조건에서는 표적이 정면의 우측으로 3.85도(7.9도의 절반) 기울어져 보여야 한다. 그런데, 기록된 착시는 전자의 경우 -1.7도 후자의 경우 +2.7도이기 때문에, 예측한 값보다 각각 2.0도와 1.15도씩 작은 것으로 나타났다.

예측한 값과 관찰한 값의 차이, 즉 예측오차가 이렇게 기록되었다고 해서 Hering의 법칙까지 의심할 일은 아닌 것 같다. 왜냐하면 이 법칙의 타당성과는 무관한 이유로도 이 같은 예측오차가 발생할 수 있기 때문이다. 예컨대, 이 예측은 방향 지각의 중심점인 cyclopean 눈이 두 눈의 중간에 위치한다는 전제로 계산된 것이다. 따라서, 관찰자에 따라 cyclopean 눈의 위치가 두 눈의 중간에서 다소 벗어나 위치할 경우(Mansfield, & Legge, 1996; Porac & Coren, 1986)에는 이 예측 자체가 정확하지 않을 수 있으며, 좌측 눈과 우측 눈의 위치 정보에 상이한 가중치가 주어질 경우(Barbeito & Simpson, 1991)에도 이 예측은 정확하지 않을 수 있다. 또한 관찰자의 편파적인 반응도 이러한 예측오차의 원인으로 작용할 수도 있다. 예컨대, 오른쪽 눈을 가린 조건보다 왼쪽 눈을 가린 조건에서의 예측오차가 더 크다는 것을 알 수 있는데, 이는 지적 위치가 표적보다 우측으로

기울어졌음을 암시하며 이 같은 반응 편파는 대부분의 관찰자가 오른 손잡이였기 때문에 발생한 것으로 보인다(Nommay, Vercher, & Gauthier, 1991; Ono & Weber, 1981; Werner, Wapner, & Bruell, 1953 참조). 그러나 예측 오차의 원인을 밝히는 것이 이 연구의 주된 목적이 아니기 때문에, 이에 대한 논의는 접어두기로 한다. 비록 상당한 예측오차가 기록되기는 했지만, 이 연구의 목적으로 보아 중요한 것은 단안 방향 착시의 방향이 phoria의 방향과 일치하며, 착시의 크기 역시 유의하다(좌측 눈 가린 경우 $t(16) = 2.56, p < .05$; 우측 눈을 가린 경우 $t(18) = 2.74, p < .01$)는 점이다. 따라서, 실험 1의 결과를 기초로 전개된 논의에는 큰 하자가 없다고 할 것이다.

방향 결정에 기여하는 안구 위치 정보의 기여도

끝으로, phoria에 의한 단안 방향 착시와 경직 후 상승 효과가 서로를 상쇄시키는 정도를 검토해 보자. 우선 경직 후 상승에 따른 안구 위치 변화와 phoria에 따른 안구 위치 변화에 동등한 가중치가 주어진다고 하자. 그러면 왼쪽 눈을 가린 조건의 경우, 적응 전의 단안 방향 착시(지적오차)가 -1.7도였고, 경직 후 상승 효과(적응효과)는 +2.6도였으므로, 적응 후 지적 오차는 +0.9도가 되어야 한다. 그런데, 실제로는 +1.7도로 기록되었으므로 예측오차는 0.8도가 된다. 하지만 이 예측오차는 우연에 의한 오차로 밝혀졌다($t(16) < 1.0$). 오른쪽 눈을 가린 조건의 경우에는 phoria에 의한 지적오차 +2.7도와 적응효과 -2.5도를 합한 +0.2도가 적응 후 지적오차로 기록되어야 한다. 하지만 실제로는 -1.0도로 기록되었기 때문에, 이 조건에서의 예측오차는 1.2도가 된다. 그러나 이 예측오차 역시 우연에 의한 오차로 드러났다($t(18) = 1.00, p > .05$). 그러므로 실험 1의 결과는 phoria에 수반되는 안구 위치 변화와 경

직 후 상승에 수반되는 안구 위치 변화가 동시에 전개될 경우, 이 두 가지 안구 위치 변화가 방향 결정에 기여하는 정도는 비슷하다라는 결론을 강요한다.

실험 2

실험 1에서는 경직 후 상승에 따른 착시의 방향과 phoria에 따른 착시의 방향을 상반되도록 하면, 이 두 방향 착시가 서로를 상쇄시킨다는 것이 밝혀졌다. 실험 2에서는 이 두 가지 착시의 방향을 동일하게 하면 단안 방향 착시의 크기가 증가하는지를 검토하였다. 두 이론의 예측부터 고려해보자. 경직 후 상승에 의해 두 눈의 기본 위치가 정면의 좌측으로 기울어진다면 정면의 표적을 주시하기 위해서는 두 눈을 우측으로 회전시켜야 할 것이다. 따라서, 두 눈은 실제로 정면의 표적을 향하고 있지만, 등록된 위치는 우측으로 회전한 상태가 될 것이다. 바로 이때 오른쪽 눈을 가려 exphoria를 유발했다 하자. 원심성 이론에 의하면, phoria에 의한 안구 회전 중 절반은 등록되기 때문에, 안구가 또 한번 우측으로 회전한 것으로 등록될 것이다. 그러므로 원심성 이론은 경직 후 상승 효과가 발효 중인 상태에서 exphoria를 유발하면 단안 방향 착시의 정도가 증가할 것이라고 예측한다. 물론 증가하는 정도는 경직 후 상승 효과에 따라 달라질 것이다. 이에 반해, 구심성 이론은 실제의 안구 위치가 등록된다고 보기 때문에, 경직 후 상승 효과에 관계없이 phoria의 크기에 의해서만 단안 방향 착시의 크기가 결정될 것이라고 예측한다. 실험 2는 이 두 예측의 타당성을 검증하였다. 이를 위해, 경직화를 위한 적응 자극으로 가린 눈의 반대쪽 LED를 제시하여 경직 후 상승 작용의 방향과 phoria의 방향을 상반되게 하였다.

방법

관찰자. 실험 1에 참여한 관찰자 중 지적 반응에서 비교적 일관성이 높은 관찰자 9명을 권유하여 참여시켰다.

도구 및 절차. 도구 및 절차는 다음 한 가지를 제외하고는 실험 1의 것과 동일하였다. 실험 1에서는 경직 후 상승 작용을 유발하기 위한 적응과정에서 가린 눈 쪽의 적응 자극물(LED)을 제시하고 3분간 주시하게 한데 반해, 실험 2에서는 가리지 않은 눈 쪽에 적응 자극물을 제시하여 경직 후 상승을 유발하였다. 이러한 실험 처치는 경직 후 상승 작용에 의한 착시의 방향이 phoria에 의한 단안 방향 착시의 방향과 동일하게 하기 위한 것이었다.

결과 및 논의

실험 1에서처럼, 먼저 관찰자별 세 가지 측정치(phoria, 양안 지적과제, 단안 지적과제)의 평균을 적응 전과 후 그리고 가린 눈별로 계산하였다. 적응 전 양안 지적과제의 평균을 표적의 지각된 위치(방향)로 정하고, 경직 후 상승 효과 및 지적오차 계산을 위한 기준치로 이용하였다. 경직 후 상승에 따른 방향 착시(적응효과)는 적응 후 측정된 8회의 양안 지적과제 평균을 적응 전 양안 지적과제의 평균에서 제한 값으로 정하였으며, 적응 전과 후의 지적오차는 각각 적응 전과 후의 단안 지적과제 평균에서 적응 전 양안 지적과제의 평균을 제한 값으로 정하였다. 그 다음, 경직 후 상승 효과가 기록되지 않은 관찰자는 실험자의 지시를 정확하게 이행하지 않은 것으로 판단되어 자료처리에서 제외시켰다. 이렇게 제외된 관찰자는 좌측 눈을 가린 조건에서 1명, 우측 눈을 가린 조건에서는 2명이었다. 표 2는 나머지 관찰자의 자료를 요약한 것이다.

표 2. Phoria, 경직화 후 상승 효과 (적응 효과), 그리고 지적 오차(degree)

가린눈	적응 전		적응효과	적응 후	
	phoria	지적오차		phoria	지적오차
좌측 눈					
평균(n=8)	-8.2	-4.4	-3.0	-7.8	-5.7
표준편차	4.2	3.1	2.3	3.9	4.9
우측 눈					
평균(n=7)	+8.5	+5.7	+3.6	+8.7	+9.3
표준편차	2.3	3.3	1.6	3.3	4.1

주: “-”부호와 “+”부호는 각각 정면의 좌측과 우측을 나타낸다.

적응 전 phoria와 단안 방향 착시

우선, 표 2에서 적응 전 phoria와 지적오차의 크기를 함께 살펴보자. 왼쪽 눈을 가린 조건에서는 왼쪽 눈이 좌측으로 평균 8.2도 회전하였고, 그 때 정면에 위치한 표적이 정면으로부터 좌측으로 약 4.4도 기울어져 보였다는 것을 알 수 있다. 그리고 오른쪽 눈을 가린 조건에서는 오른쪽 눈이 우측으로 평균 8.5도 회전하였고, 그 때는 표적이 정면의 우측으로 약 5.7도 기울어져 보였다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 실험 1의 결과 및 여러 선행 연구(예, Ono & Gonda, 1978; Ono & Weber, 1981; Park & Shebilske, 1991)의 결과와 일치하는 것으로, 단안 방향 착시가 phoria와 함께 변하고 있음을 다시 한번 확인한 셈이다.

또한 왼쪽 눈을 가린 조건보다 오른쪽 눈을 가린 조건에서 phoria에 비해 지적 오차가 더 크게 기록된 것 역시 실험 1의 결과와 일치한다. 실험 1의 결과와 다른 점이 있다면, 실험 1에서는 적응 전 지적오차의 크기가 phoria 크기의 절반에 미치지 못하는데 반해, 실험 2에서는 지적오차의 크기가 phoria 크기의 절반보다 다소 크다는 점을 들 수 있다. 왜 이런 차이가 관찰되는지는 분명하지 않지만, 이 결과는 자신의 손가락을 보지 못하는(open-loop) 조건에서 표적을 정확하게 지적하기가 결코 쉽지만은 않다는 점을 반영한다고 하겠다. 어떻게,

적응 전의 phoria 및 지적오차만 고려하면 실험 2도 실험 1과 흡사한 결과를 생산했다고 하겠다.

적응 전, 후 phoria 차이와 적응효과 및 그 함의

적응 전과 후에 기록된 phoria의 크기를 살펴보면, 가린 눈에 관계없이 큰 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있다. 왼쪽 눈을 가린 조건에서의 0.4도 차이와 오른쪽 눈을 가린 조건에서의 0.2도 차이는 각각 우연에 의한 변화로 드러났다(왼쪽 눈을 가린 경우, $t(7) < 1.0$; 오른쪽 눈을 가린 경우, $t(6) < 1.0$). 이에 비해, 적응효과의 경우 왼쪽 눈을 가린 조건과 오른쪽 눈을 가린 조건에서 각각 -3.0도 및 +3.6도라는 유의한 효과가 기록되었으며(전자의 경우 $t(7) = 3.72, p < .01$; 후자의 경우 $t(6) = 6.13, p < .01$), 이들 적응효과의 방향 역시 phoria의 방향과 같은 것으로 드러났다.

적응 전과 후에 기록된 phoria의 크기가 다르지 않다는 것은 적응 전이나 후에 기록된 실제 안구 위치가 다르지 않다는 것을 의미한다. 그리고 적응효과가 유의하다는 것은 시각 중추에 등록된 안구 위치는 실제 안구 위치와 다르다는 것을 의미한다. 따라서, 구심성 이론의 주장처럼, 공통 축이 구심성 정보(여기서는 phoria로 측정된 안구의 실제 위치)에 의해 결

정된다면 적응 전과 후의 지적오차에는 차이가 없어야 한다. 하지만 원심성 이론의 주장처럼, 공통 축이 원심성 정보에 의해 결정된다면 적응 후 지적오차는 적응 전 지적오차보다 증가해야 하며, 증가의 방향은 적응효과의 방향과 일치해야 한다.

표 2를 보면, 왼쪽 눈을 가린 경우에는 적응 후 지적오차가 적응 전 지적오차보다 1.3도 증가했고, 오른쪽 눈을 가린 조건에서는 적응 전 지적오차보다 3.6도가 증가했으며, 두 조건 모두 증가의 방향이 적응효과의 방향과 일치한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 실험 2의 결과는 전반적으로 구심성 이론의 예측보다는 원심성 이론의 예측과 일치한다고 할 것이다.

석연치 않은 점이 있다면, 오른쪽 눈을 가린 조건의 3.6도 차이는 신뢰할 만한 것으로 드러났지만($t(6) = 4.27, p < .01$), 왼쪽 눈을 가린 조건의 1.3도 차이는 우연에 의한 차이로 드러났다($t(7) = 1.15, p > .05$)는 점이다. 통계적 분석결과만 따른다면, 실험 2의 왼쪽 눈을 가린 조건의 결과는 원심성 이론보다 구심성 이론을 지지한다고 봐야 한다. 하지만, 적응 후 phoria가 적응 전 phoria보다 감소했는데도(역시 통계적으로는 유의하지 않지만), 적응 후 지적오차가 증가했다는 사실로 미루어 이 결과가 전적으로 구심성 이론을 지지한다고 보기는 어려울 것 같다. 이러한 유보적인 결론을 강요하는 또 한 가지 요인은 관찰자들이 모두 오른 손잡이였다는 점이다. 실험 1에서도 언급했듯이, 오른 손잡이의 경우 정면의 좌측을 지적할 때는 우측을 지적할 때보다 손가락이 표적 위치에까지 미치지 못하는 경향이 있는 것으로 보고되었고(Ono & Weber, 1981; Werner, Wapner, & Bruell, 1953) 이 경향성은 실험 1에서도 관찰되었다. 따라서, 좌측 눈을 가린 조건의 결과로는 어느 모형이 더 타당한지를 명백하게 결정할 수 없다고 할 것이다. 하지만, 실험 2의 전반적 결과도 구심성 이론보다는 원심성 이론을 지지한다고 봐야 할 것이다.

방향 결정에 기여하는 안구 위치 정보의 기여도

결과에 대한 논의를 끝맺기 전에 phoria에 따른 안구 움직임과 경직 후 상승에 따른 안구 움직임이 공통 축 설정에 기여하는 정도를 비교해 보자. 만약 이들 두 가지 정보의 공헌도가 동등하다면, 실험 2에서처럼, 등록된 안구 위치의 방향이 같은 경우, 경직 후 상승효과가 발효 중인 때 phoria를 유발하면, 최종 착시는 phoria에 의한 착시에다 경직 후 상승효과를 더한 만큼 커져야 한다. 구체적으로, 왼쪽 눈을 가린 조건의 경우, 경직화 전 phoria에 의한 착시(지적오차)가 -4.4도였고, 경직 후 상승효과(적용효과)는 -3.0도였으므로, 이 둘을 합하면 적응 후 지적오차는 -7.4도가 되어야 한다. 하지만 기록된 지적오차는 -5.7도였다. 따라서 예측한 지적오차와 기록된 지적오차간의 괴리는 1.7도가 되는데, 이 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($t(7) = 1.67, p > .05$). 비록 통계적으로는 유의하지 않지만, 1.7도는 상당한 차이이기 때문에 분명한 결론을 내리기는 쉽지 않다. 이에 비해, 오른쪽 눈을 가린 조건에서는 적응 후 지적오차가 +9.3도로 기록되었는데, 이는 phoria에 의한 지적오차 +5.7도와 적용효과 +3.6도를 합한 값과 동일하다. 결국, 왼쪽 눈을 가린 조건에서 다소 석연치 않은 결과가 생산되긴 했지만, 실험 2의 전반적 결과는 phoria와 경직 후 상승이 동시에 작동할 때 방향 결정에 이용되는 두 가지 안구 위치 정보는 거의 동등한 가중치를 부여받는다라고 시사한다.

종합 논의

이 연구는 phoria에 의한 단안 방향 착시를 설명하기 위해 Park & Shebilske(1991)가 제안한 두 개의 모형(원심성 이론과 구심성 이

론)을 두 개의 실험을 통해 검토함으로써, 단안 방향(monocular visual direction) 지각에 이용되는 안구 위치 정보가 구심성인지 원심성인지를 결정하고자 하였다. Phoria에 의한 안구 움직임과 경직 후 상승에 의한 안구 움직임이 동시에 전개되도록 조작하고, 두 움직임의 방향만 상반되게 한 실험 1에서는 두 안구 움직임에 따른 방향 착시가 서로를 상쇄시킨다는 것이 밝혀졌다. 그리고, 이들 두 안구 움직임의 방향을 같게 한 실험 2에서는 phoria 만으로도 또는 경직 후 상승효과 만으로도 설명할 수 없을 정도로 커져버린 단안 방향 착시가 관찰되었다. 실험 2의 좌측 눈을 가린 조건에서 다소 불투명한 결과가 나타나긴 했지만, 이 연구의 전체 결과는 구심성 이론보다는 원심성 이론을 지지하는 것으로 판명되었다. 그러므로 단안 방향 결정에 이용되는 주된 안구 위치 정보는 원심성 정보라 할 것이다.

최근에는 시각 정보가 풍부한 조건에서는 관찰자 중심의 방향 판단에 안구 위치 정보가 필수적이지 아닐 수도 있다는 주장이 제기되기도 하였다(Fogt & Jones, 1996; Matin, 1986도 보라). 하지만, 적어도 시각 정보가 풍부하지 못한 조건에서는, 안구 위치 정보 없이는 물체의 시각 방향이 결정되지 않으며, 이 점에 대해서는 대부분의 연구자들이 의견을 같이하고 있다(Bridgeman, 1995; Howard & Rogers, 1995; Matin, 1986; Rine & Skavenski, 1997; Trotter & Celebrini, 1999). 그리고, 두 눈을 모두 이용하는 경우 물체의 방향 판단에 이용되는 안구 위치 정보가 원심성이라는 주장이 우세한 것도 사실이다(Bridgeman, 1995; Matin, 1986; Paap & Ebenholtz, 1976; 그러나 Lewald & Ehrenstein, 2000; Nommay, Vercher, & Gauthier, 1991도 보라).

그런데도, 지금까지는 단안 방향(monocular visual direction) 결정에 이용되는 안구 위치 정보의 본질을 밝히기 위한 구체적인 연구가 없었기 때문에, 단안 방향 판단에 이용되는 안구

위치 정보도 원심성이라는 강한 결론을 지을 수가 없었다. 더욱이 한 눈은 감고 한 눈만으로 물체를 주시하는 경우 그 물체의 지각된 방향은 실제 방향과 다르며, 이 착시의 근원이 물체를 보고 있지 않은 눈의 불수의적 안구 움직임(phoria)이라는 사실이 밝혀지고(Park & Shebilske, 1991), 또한 최근에는 방향 지각에 이용되는 주된 안구 위치 정보가 구심성이라는 증거가 보고되면서(예, Lewald & Ehrenstein, 2000), 적어도 단안 방향 결정에 이용되는 안구 위치 정보는 구심성일 수도 있다는 주장이 상당한 설득력을 갖게 되었다. 그러나, 이 연구의 결과로 단안 방향 결정에도 원심성 안구 위치 정보가 이용된다는 것이 밝혀짐에 따라 이러한 주장도 그 힘을 잃게 되었다.

이 결론은 안구 위치에 관한 두 가지 원심성 정보 - phoria 때문에 내려진 안구 움직임 명령과 경직 후 상승 때문에 내려진 안구 움직임 명령 - 를 동시에 조작함으로써 얻어진 것이다. 따라서, 이 두 가지 정보가 방향 결정에 기여하는 정도가 동일한가 아니면 상이한 가라는 의문이 자연스럽게 제기된다. 이 의문을 풀기 위해서는 원심성 이론의 기본 전제를 보다 구체적으로 고려할 필요가 있다. 원심성 이론은 phoria에 의한 안구 회전은 그 절반만 등록되며, 등록된 방향은 phoria의 방향과 같다고 본다. 그리고 경직 후 상승 작용을 상쇄하기 위한 안구 회전은 그 크기대로 등록되며 등록된 방향은 경직 후 상승 작용의 방향과 반대라고 본다. 앞서도 암시했듯이, 만약 이들 두 가지 정보의 공헌도가 동등하다면, 실험 1에서처럼 경직 후 상승의 방향과 phoria의 방향이 같은 경우에는 등록된 안구 위치의 방향이 상반되므로 phoria에 의한 착시의 크기가 경직 후 상승 효과의 크기만큼 상쇄되어야 하며, 실험 2에서처럼 등록된 안구 위치의 방향이 동일한 경우에는 적응 후 착시가 phoria에 의한 착시에다 경직 후 상승효과의 크기를 더한 만큼 증가해야 한다. 물론 이 연구가 이 문

제를 해결하기 위해 설계된 것이 아니기 때문에 분명한 답을 제공할 수는 없지만, 이 연구의 전반적 결과로 보아 이들 두 가지 정보의 기여도가 동일할 가능성이 높다.

남은 문제는 단안 방향 결정에는 자기수용기에서 포착된 구심성 안구 위치 정보가 전혀 이용되지 않는다는 것이다. 양안 방향 판단의 경우, 원심성 정보와 구심성 정보가 모두 이용되며, 환경 조건에 따라 이 두 정보의 가중치가 달라진다는 견해(Gauthier, et al., 1988와 Nommay, Vercher, & Gauthier, 1991도 보라)가 상당한 설득력을 얻고 있다. 하지만, 단안 방향 결정 과정에 관한 구체적인 연구는 아직까지 발견되지 않고 있기 때문에, 이 문제의 답은 분명하지 않다. 실험 2의 좌측 눈을 가린 조건의 결과가, 석연치 않은 점이 있지만, 구심성 가설의 예측과 일치한다는 점을 감안하면, 구심성 정보가 전혀 이용되지 않는다고 단정할 수도 없다. 또한 바로 위에서 다룬 문제, 즉 두 가지 원심성 정보에 주어지는 가중치가 동일할가라는 문제의 답이 분명하지 않은 이유 중 하나도 구심성 정보가 이용되기 때문일 수 있다. 결국, 이 연구의 결과로 단안 방향 결정에 이용되는 주된 안구 위치 정보는 원심성이라는 것이 분명해졌지만, '두 가지 이상의 원심성 정보가 동시에 입력될 때 각 정보에 동등한 가중치가 부여되는가?' '구심성 정보는 전혀 이용되지 않는가?' 이용된다면 '어떤 조건에서 어떻게 이용되는가?'라는 문제는 여전히 해결되기를 기다리고 있다.

참 고 문 헌

- Barbeito, R., & Simpson, T. L. (1991). The relationship between eye position and egocentric visual direction. *Perception & Psychophysics*, 50, 373-382.
- Bridgeman, B. (1995). Extraretinal signals in visual orientation. In P. Wolfgang & B. Bridgeman (Eds.), *Handbook of perception and action: Vol. 1. Perception*. (pp.191-223). New York: Academic Press.
- Bridgeman, B., & Stark, L. (1991). Ocular proprioception and efference copy in perception and visually guided behavior. *Vision Research*, 31, 1903-1913.
- Duke-Elder, S. (Ed). (1973). *Systems of ophthalmology*: (Vol. 6). St. Louis, MO: Mosby.
- Fogt, N., & Jones, R. (1996). The effect of refractive lenses on perceived direction. *Vision Research*, 36, 3735-3741.
- Gauthier, G. M., Nommay, D., & Vercher, J. L. (1988). Ocular muscle proprioception and visual localization in man. *Journal of physiology* (London), (40b), 24P
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. (1995). *Binocular vision and stereopsis*. New York: Oxford University Press.
- Lewald, J., & Ehrenstein, W. H. (2000). Visual and proprioceptive shifts in perceived egocentric direction induced by eye-position. *Vision Research*, 40, 539-547.
- Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (1996). The binocular computation of visual direction. *Vision Research*, 36, 27-41.
- Mapp, A. P., & Ono, H. (1999). Wondering about the wandering cyclopean eye. *Vision Research*, 39, 2381-2386.
- Matin, L. (1986). Visual localization and eye movements. In K .R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance: Vol. 1. Sensory processes and perception* (pp. 20-1-2--45). New York: Wiley.
- Nommay, D., Vercher, S-L., & Gauthier, G. M. (1991). Localization of targets in humans: The role of ocular muscle proprioception. In R. Schmid & Zambarbier (Eds.), *Oculomotor control and cognitive processes* (pp.21-38). Elsevier, North-Holland.
- Ono, H. (1979). Axiomatic summary and deductions

- from Hering's principles of visual direction. *Perception & Psychophysics*, 25, 29-34.
- Ono, H. (1991). Binocular visual directions of an object when seen as single or double. In D. Regan (Ed.), *Vision and visual dysfunctions: Vol. 10A. Binocular vision* (pp. 1-18). New York: Macmillan.
- Ono, H., & Gonda, G. (1978). Apparent movement, eye movement, and phoria when the viewing eyes alternate in viewing a stimulus. *Perception*, 7, 75-83.
- Ono, H., & Mapp, A. P. (1995). A restatement and modification of Wells-Hering's laws of visual direction. *Perception*, 24, 237-252.
- Ono, H., & Weber, E. U. (1981). Nonveridical visual direction produced by monocular viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 937-947.
- Ono, H., Wilkinson, A., Muter, P., & Mitson, L. (1972). Apparent movement and change in perceived location of a stimulus produced by a change in accommodative vergence. *Perception & Psychophysics*, 12, 187-192.
- Paap, K. R., & Ebenhotz, S. M. (1976). Perceptual consequences of potentiation in the extraocular muscles: An alternative explanation for adaptation to wedge prisms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2(4), 457-468.
- Park, K., & Shebilske, W. L. (1991). Phoria, Hering's laws, and monocular perception of direction. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 219-231.
- Porac, C., & Coren, S. (1986). Sighting dominance and egocentric localization. *Vision Research*, 26, 1709-1713.
- Rine, R. M., & Skavenski, A. A. (1997). Extraretinal eye position signals determine perceived target location when they conflict with visual cues. *Vision Research*, 37, 775-787.
- Semmlow, J. L., & Yuan, W., & Alvarez, T. L. (1998). Evidence for separate control of slow version and vergence eye movements: Support for Hering's law. *Vision Research*, 38, 1145-1152.
- Steinbach, M. J. (1987). Proprioceptive knowledge of eye position. *Vision Research*, 27, 1737-1744.
- Trotter, Y., & Celebrini, S. (1999). Gaze direction controls response gain in primary visual-cortex neurons. *Nature*, Vol.398(6724), 239-242.
- van de Grind, W. A., Erkelens, C. J., & Laan, A. C. (1995). Binocular correspondence and visual direction. *Perception*, 24, 215-235.
- Walls, G. L. (1951). *An essay upon single vision with two eyes: Together with experiments and observations several other subjects in optics*. London: Cadell.
- Werner, H., Wapner, S., & Bruell, J. H. (1953). Experiments on sensory-tonic theory of perception. *Journal of Experimental Psychology*, 46, 293-299.

부록. Phorometer를 이용한 phoria 측정의 원리 및 절차

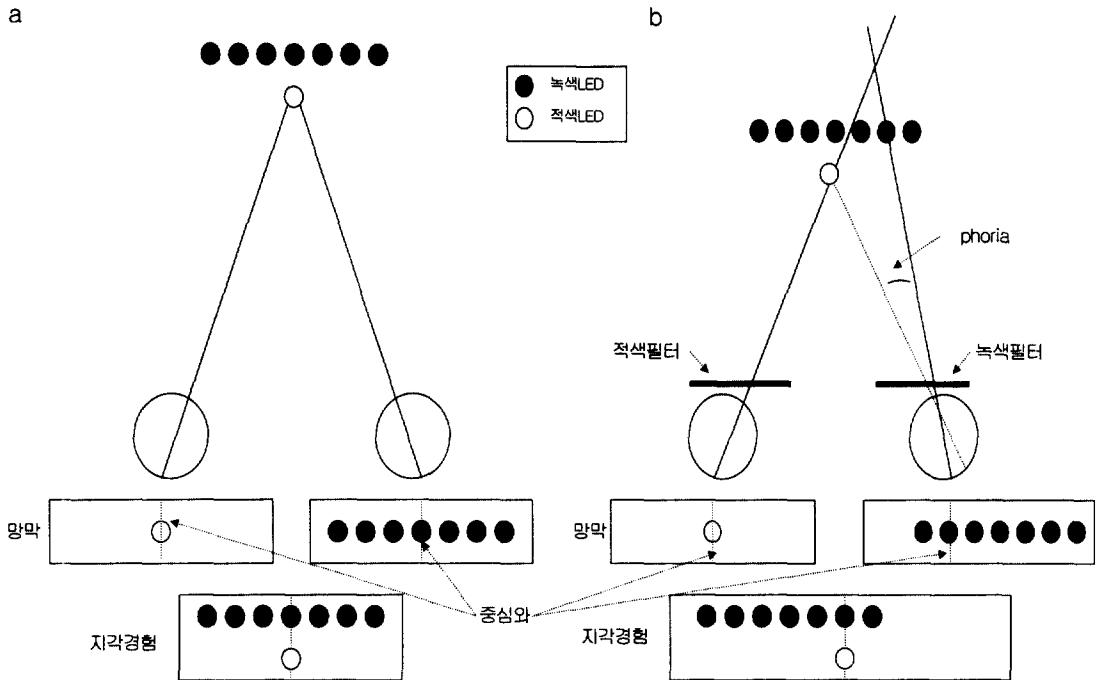


그림 3. Phoria 측정을 위한 자극 LED 제시 장면과 상의 망막 상 위치 및 그에 따른 지각경험. 그림 좌단 a의 망막 중 왼쪽 망막에는 적색 LED의 상을 나타내는 작은 원 아래에 일곱 개의 녹색 LED의 상을 나타내는 작은 원이 제시되어야 하고, 오른쪽 망막에는 녹색 LED의 상을 나타내는 일곱 개의 원 중 중앙에 위치한 것 바로 위에 적색 LED의 상을 나타내는 작은 원이 제시되어야 하는데, 이들은 모두 생략되었다. 그리고 수직 phoria의 가능성도 배제되었다.

암실에서 적색 LED 하나와 그 위에 수평으로 나열된 여러 개의 녹색 LED를 제시하고 필터가 제거된 상태에서 적색 LED를 주시하라고 지시하면, 두 눈의 위치(시각 축)는 적색 LED를 향하게 된다(그림 3a). 이처럼 관찰자의 두 눈이 모두 적색 LED를 향하고 있을 때는 적색 LED와 녹색 LED 중 중앙에 위치한 것이 왼쪽 눈의 중심좌를 자극하고, 녹색 LED 중 중앙에 위치한 것과 적색 LED가 오른쪽 눈의 중심좌를 자극할 것이다(그림 3a의 망막 참조). 따라서 적색 LED 바로 위에 위치한 녹색 LED가 어느 것이냐고 구두로 질문하면 관찰자는 여러 녹색 LED 중 중앙에 위치한 LED라고 말할 것이다(그림 3a의 지각경험 참조). 이 결과는 phoria가 발생하기 전의 두 눈의 위치를 명시하는 것으로 phoria 측정의 기준이 된다.

이 상태에서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈앞을 각각 적색 필터와 녹색 필터로 가리면, 왼쪽 눈으로는 적색 LED만을 그리고 오른쪽 눈으로는 녹색 LED만을 보게 된다. 이때 녹색 LED를 꺼버리면, 왼쪽 눈은 적색 LED를 볼 수 있지만 오른쪽 눈은 아무것도 볼 수 없기 때문에 오른쪽 눈에 phoria가 발생한다(그림 3b). Phoria에 의한 안구 움직임이 안정 상태에 접어든 후(약 15초 후) 녹색 LED를 잠깐 켜면, 이미 오른쪽 눈은 우측으로 회전한 상태이기 때문에 오른쪽 눈의 중심좌를 자극하는 것은 중앙에 위치한 녹색 LED가 아니라 중앙에서 우측으로 벗어난 LED일 것이다. 편의상, 그림 3b처럼 중앙에서 우측 두 번째 녹색 LED의 자극을 받는다고 하자. 이때도 왼쪽 눈의 중심좌는 여전히 적색 LED의 자극을 받고 있기 때문에(그림 3b의 망막 참조), 이때 적색 LED의 바로 위에 위치한 녹색 LED가 어느 것이냐고 물으면 관찰자는 중앙에서 우측으로 두 번째 것이라고

말할 것이다(그림 3b의 지각경험 참조). 물론 이때 관찰자가 보고할 녹색 LED가 어느 것일지는 phoria에 의한 안구 움직임의 크기에 따라 달라질 것이다.

암실에서 적색 LED 하나와 그 위에 수평으로 나열된 여러 개의 녹색 LED를 제시하고 필터가 제거된 상태에서 적색 LED를 주시하라고 지시하면, 두 눈의 위치(시각 축)는 적색 LED를 향하게 된다(그림 3a). 이처럼 관찰자의 두 눈이 모두 적색 LED를 향하고 있을 때는 적색 LED와 녹색 LED 중 중앙에 위치한 것이 왼쪽 눈의 중심와를 자극하고, 녹색 LED 중 중앙에 위치한 것과 적색 LED가 오른쪽 눈의 중심와를 자극할 것이다(그림 3a의 망막 참조). 따라서 적색 LED 바로 위에 위치한 녹색 LED가 어느 것이냐고 구두로 질문하면 관찰자는 여러 녹색 LED 중 중앙에 위치한 LED라고 말할 것이다(그림 3a의 지각경험 참조). 이 결과는 phoria가 발생하기 전의 두 눈의 위치를 명시하는 것으로 phoria 측정의 기준이 된다.

이 상태에서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈앞을 각각 적색 필터와 녹색 필터로 가리면, 왼쪽 눈으로는 적색 LED만을 그리고 오른쪽 눈으로는 녹색 LED만을 보게된다. 이때 녹색 LED를 꺼버리면, 왼쪽 눈은 적색 LED를 볼 수 있지만 오른쪽 눈은 아무것도 볼 수 없기 때문에 오른쪽 눈에 phoria가 발생한다(그림 3b). Phoria에 의한 안구 움직임이 안정 상태에 접어든 후(약 15초 후) 녹색 LED를 잠깐 켜면, 이미 오른쪽 눈은 우측으로 회전한 상태이기 때문에 오른쪽 눈의 중심와를 자극하는 것은 중앙에 위치한 녹색 LED가 아니라 중앙에서 우측으로 벗어난 LED일 것이다. 편의상, 그림 3b처럼 중앙에서 우측 두 번째 녹색 LED의 자극을 받는다고 하자. 이때도 왼쪽 눈의 중심와는 여전히 적색 LED의 자극을 받고 있기 때문에(그림 3b의 망막 참조), 이때 적색 LED의 바로 위에 위치한 녹색 LED가 어느 것이냐고 물으면 관찰자는 중앙에서 우측으로 두 번째 것이라고 말할 것이다(그림 3b의 지각경험 참조). 물론 이때 관찰자가 보고할 녹색 LED가 어느 것일지는 phoria에 의한 안구 움직임의 크기에 따라 달라질 것이다.

이러한 절차에 따라 적색 LED와 수직으로 일치하는 녹색 LED가 몇 번째 것인지를 기록하고 나면, 관찰자로부터 녹색 LED까지의 거리와 녹색 LED간의 간격이 고정되어 있기 때문에 phoria에 의해 오른쪽 눈이 회전한 각도는 쉽게 계산된다. 예컨대, 이 연구에서 관찰자의 눈과 녹색 LED가 제시된 자극 먼간의 거리는 40cm였으며 녹색 LED간 간격(한 LED의 중앙과 다음 LED의 중앙까지의 간격)은 1cm였다. 따라서 위에서 든 보기의 경우 phoria는 $\tan^{-1}(2/40)$, 즉 2.86도가 된다.

Extraretinal Eye Position Information and Monocular Perception of Direction

Kwonsaeng Park

Department of Psychology, Keimyung University

Two experiments tested whether the extra-retinal eye position information (EEPI) used in computing monocular egocentric visual direction originated from eye muscle proprioception("inflow") or efference copy("outflow"). Immediately after inducing potentiation in the extraocular muscle, one of the eyes was occluded to induce phoria. Both phoria and open-loop pointing errors were measured before and after potentiation. The results showed that even when potentiation did not modulate the size of phoria (the position of the occluded eye), it changed the size of pointing error, indicating that EEPI used in determining monocular visual direction is efference copy rather than phoria (real position of the occluded eye).

keywords Monocular visual direction, Inflow theory, Outflow theory, Extra-retinal eye position information

초고접수 2000. 10. 27
최종본접수 2000. 12. 23