



김 성 희

경북대학교 의학전문대학원 신경과

Vergence Eye Movements

Sung-Hee Kim, MD, PhD

Department of Neurology, Kyungpook National University School of Medicine, Daegu, Korea

Vergence eye movements refer to disjunctive movements of the eyes such that the angle between the lines of sight changes. That is, vergence is movement of the eyes in opposite directions. Since the two eyes are separate, it is necessary to control the rotation of each eye separately when we view near objects. Convergence makes the line of sight of each eye turn inward toward the nose, while the lines of sight turn outward toward the ears during divergence. Vergence usually arises from the disparity that is caused by changing the target distance. Retinal blur also leads to a loss of sharpness of perceived images and accommodation-linked vergence movements.

Key Words: Vergence, Version, Convergence, Divergence

서론

두 눈이 서로 크기와 방향이 동일하게 움직일 때 동향(conjugate) 눈운동이라고 한다. 반면 두 눈의 움직이는 크기나 방향이 서로 다른 경우 비동향(disconjugate) 눈운동이라고 한다. 비동향눈운동 중에서 양쪽 눈의 움직이는 방향이 서로 반대인 경우를 이향눈운동(vergence eye movements)이라고 일컫는다.¹ 이향눈운동의 가장 흔한 유형은 수평축에서 일어나는 것이지만, 수직이나 회선축에서도 이향눈운동이 일어날 수 있다.

이향눈운동은 눈모음과 눈벌림 운동으로 나눌 수 있다. 눈모음(convergence) 운동은 양쪽 눈을 코를 향해서 회전시키는 반면, 눈벌림(divergence) 운동은 양 눈을 귀를 향해서 회전시킨다. 이향눈운동은 양안시를 가지는 여러 종에서 다양한 거리에 존재하는 시표적들을 볼 수 있게끔 하며, 깊이감을 가지고 움직이는 시표적을 따라보는 데 기여

한다. 또한 깊이감을 가지는 한 시표적으로부터 다른 깊이를 가지고 있는 표적으로 시선을 이동시킬 때도 이향눈운동이 작동한다.

본론

1. 이향눈운동의 속도와 잠복기

이향눈운동은 신속보기운동(saccades)과 마찬가지로 운동크기(amplitude)에 따라 변화하는 일련의 속도 범주를 가지고 있으나, 신속보기와 달리 운동크기와 속도 사이의 상관 관계가 밀접하지 않다.² 이향눈운동의 속도는 시표적의 크기와 명암대비(contrast)와 같은 특성에 의해서 많이 영향을 받는다. 전형적으로 이향눈운동의 속도는 60°/초를 넘지 않는데, 이는 원활추종눈운동(smooth pursuit)의 속도와 유사하다. 예외적으로 이향눈운동이 신속보기운동과 결합될 때는 속도가 60°/초를 넘을 수 있는데, 이 경우는 두 눈에서 서로 다른 크기로 발생하는 신속보기운동이 두 눈 사이의 이향운동 성분을 초래한 것으로 해석할 수 있다.

이향눈운동은 긴 잠복기(150-200 msec)를 가지는 경향을 가지고 있으며, 이는 원활추종운동의 잠복기와 신속보기운동 잠복기의 중간에 해당한다고 볼 수 있다.² 전형적인

Sung-Hee Kim, MD, PhD

Department of Neurology, Kyungpook National University School of Medicine, 807 Hoguk-ro, Buk-gu, Daegu 41404, Korea

Tel: +82-53-200-2168 Fax: +82-53-200-2029

E-mail: sefirot36@naver.com

이향눈운동은 대체적으로 음지수적인 파형(negative exponential waveform)을 보인다. 이향눈운동을 유발하는 전기신호는 개별 외안근을 수축시키는 스텝(step) 명령을 유발할 뿐만 아니라, 외안근의 수축 상태를 유지시키는 펄스(pulse) 명령 성분 또한 내포하는 것으로 보인다.

2. 이향눈운동을 유발하는 자극들

1) 불일치 유도 이향눈운동(Disparity-driven vergence)

양 눈에 맺히는 망막상의 불일치(disparity)에 반응하여, 일치하지 않는 상을 하나로 융합 시키고자 하는 이향눈운동이 일어난다. 수평면에서 일어나는 양쪽 망막상의 불일치는 깊이 감각을 인지할 수 있도록 하여 입체시(stereopsis)를 가능하게 한다.³ 수평면 뿐 아니라 수직면이나 회전면에서도 양쪽 망막상의 불일치가 일어날 수 있으며, 각각 해당하는 평면에서의 이향눈운동을 유발할 수 있다.

2) 흐림 유도 이향눈운동(Blur-driven vergence)

근접 시각자극에 대한 조절운동(accommodative response)의 일환으로 이향눈운동이 일어날 수 있다. 우리가 근거리 시표적을 주시하고 있을 때 두 눈의 시선을 시표적에 근접시키기 위해 눈모음 반응이 일어난다. 조절반응에 의한 이향눈운동만으로는 두 눈의 망막중심오목에 시표적이 정확히 맺히도록 만드는 데 충분하지 않기 때문에, 대부분 망막상의 불일치에 의해서 유발되는 이향눈운동이 함께 요구된다.

3) 근위 이향눈운동(Proximal vergence)

시표적의 거리를 지시하는 흐림(blur)이나 망막상의 불일치 단서가 실제로는 존재하지 않는다고 해도, 시표적이 관찰자 가까이 있다고 인지될 때 발생하는 이향눈운동을 말한다. 근위 이향눈운동은 다양한 거리에 존재하는 여러 가지의 시표적에 대하여 주시점을 변환시키는 이향눈운동을 일으키는 데 있어서 중요하다.⁴

4) 긴장 이향눈운동(Tonic vergence)

양안 망막상 사이의 불일치, 흐림, 또는 근위 자극이 없더라도 존재하는 안정상태의 이향눈운동을 일컫는다. 긴장 이향눈운동은 고정적이지 않으며, 최근에 발생했던 이향눈운동의 정도에 따라서 변화한다.⁵ 예를 들어 근거리 표적을 고도로 집중해서 바라본 직후 이향눈운동의 긴장(tonic) 성

분이 증가하게 된다. 긴장 이향눈운동은 근거리 표적을 지속적으로 주시하고 있는 동안 이향눈운동의 신경 명령 요구를 줄이도록 해준다. 안구의 긴장 이향눈운동은 완전히 이완된 상태에 있는 안구 위치가 아니라, 능동적으로 유지되고 있는 안구 위치라고 간주해야 한다. 참고로 두 눈이 완전한 휴지 상태에 있을 때 안구의 해부학적 위치는 20도 눈별림 상태, 즉 각각의 눈이 대략 10도 가량 벌어져 있는 상태가 된다. 이는 보통 깊은 혼수에 빠진 환자 또는 수면 상태의 유아들에서 관찰될 수 있다. 안정 상태에 있는 안구의 생리적인 위치는 대략 0도를 유지하며, 이때 양 눈의 시선은 광학적 무한대를 형성하는 평행선을 이룬다.

정상적인 상태에서, 이향눈운동은 상기 네 가지 성분들의 조합에 의해 결정된다. 큰 운동 각도로 일어나는 이향눈운동은 근위 이향눈운동에 의해서 유도되며, 보다 정밀한 안구정렬을 위해서는 망막상의 불일치에 의한 융합 이향눈운동 성분이 작동한다. 한 눈을 가렸을 경우에는 조절반응 성분에 의해 유발되는 이향눈운동이 작동하여 안구 정렬을 유지시킨다. 한편 근위부 표적에 집중하는 시간이 길어질수록 긴장 이향눈운동 성분이 안구들의 정렬을 유지시키기 위해 작동한다.

3. 이향눈운동 경로

수평 이향눈운동의 정확한 경로에 대해서는 알려진 바가 없으며, 수직 이향눈운동 경로에 대해서는 더욱 그러하다. 이향눈운동은 다른 안구운동들과 마찬가지로 뇌신경핵을 통해서 외안근으로 전달되는 최종 경로를 따른다. 동안운동신경핵(oculomotor nucleus)의 신경세포들은 통상적인 동향운동(version)뿐 아니라 이향운동(vergence)을 위해서도 활성화된다. 눈모음은 양 눈의 내직근(medial rectus)이 동시에 활성화되는 것을 요구하는 반면, 눈별림은 양 눈의 외직근(lateral rectus)의 동시적 활성화를 필요로 한다.⁶ 외전신경의 사이신경세포(abducens interneurons)은 정상적으로 주시의 동향 변화(yoke change)를 일으키는 데, 눈모음/눈별림이 일어나기 위해서는 이러한 사이신경세포의 작용이 억제되어 두 눈이 별개로 수축해야 한다.

동안신경핵의 등가쪽(dorsal and lateral portion)에 위치하는 중뇌 망상체(mesencephalic reticular formation)에 존재하는 세포들이 수평 이향눈운동 움직임과 관계되어 있다고 알려져 있는데,⁷ 거의 비슷한 곳에서 수직방향 폭주세포(rostral interstitial nucleus of medial longitudinal fasciculus, riMLF)들이 발견된다. 따라서 이 위치의 병변은 수

직방향 신속보기운동과 눈모음 운동 모두에 영향을 미칠 수 있다. 일부 작은 부분은 눈벌림 운동에 반응한다. 이항 눈운동 속도 세포들은 신속보기폭주세포들과 마찬가지로 이항운동의 속도에 비례해서 발화하는데, 눈벌림보다 눈모음 운동과 더 밀접하게 연관되어 있다. 한편 이항운동 휴지 세포들(pause cells)이 이항운동 및 동향운동에 동시에 반응하기 때문에, 이항눈운동 휴지 세포들은 범정지신경세포(omnipause neurons)로 불리기도 하는 신속보기운동의 휴지세포와 거의 유사한 방식으로 작동하리라 추정된다.²

소뇌는 이항눈운동에 일정한 역할을 담당하지만 그 정확한 기능은 알려져 있지 않다. 아마도 전정안반사와 신속보기운동의 적응(adaptation)에서 소뇌가 수행하는 역할과 유사하게, 이항눈운동의 적응 및 지속적인 통제에 관여한다고 추정된다.⁸ 일차 시각피질(V1, primary visual cortex)의 세포들이 양쪽 망막상의 차이를 조율하는 데 관여한다고 알려져 있으며, 망막상의 불일치에서 유래하는 이항눈운동 신호를 발생시키는 것으로 보인다.⁹ 전두엽눈운동영역의 신경세포를 또한 이항눈운동을 유발시키는데, 이 영역의 세포들은 이항눈운동의 자발적인 통제와 스텝(step) 신호 변화에 더 관여하리라 보인다.

4. 이항눈운동 이상

수직 주시에 손상을 가져오는 중뇌 병변은 이항눈운동 이상을 초래할 수 있는데, 눈모음 연축(convergence spasm), 눈모음-후퇴 안진(convergence-retraction nystagmus), 가성 외전마비(pseudo-abducens palsy)들이 그것이다.

눈모음 연축은 눈모음 운동이 과도하게 일어나는 상태에서, 여러 기질적인 원인 및 비기질적인 이유에 의해서도 발생할 수 있다.¹⁰ 눈모음-후퇴 안진은 등쪽 중뇌 증후군(dorsal midbrain syndrome)의 일환으로 종종 나타난다. 눈모음-후퇴 안진이 일차적으로 이항눈운동계의 손상에서 유래한 질환인지, 아니면 서로 반대 방향으로 향하는 신속보기운동이 비동시적으로(asynchronously) 일어나는 것인지 대해서는 아직 명확하지가 않다.^{11,12} 어느 한 가지 요인이 전적으로 눈모음-후퇴 안진을 유발하는 것으로 보는 것 보다는, 두 가지 요인이 복합적으로 기여하고 있다고 보인다. 눈모음-후퇴 안진을 가진 환자들은 가성외전마비와 같은 과도한 눈모음 성향을 보이는데, 이때 외전상태에 있는 눈(abducting eye)은 내전상태에 있는 눈(adducting eye)보다 더 느리게 움직인다. 눈모음-후퇴 안진을 가진 환자들은 종종 독서하는 동안 줄을 바껴서 눈을 움직일 때 융합이

깨지므로 책 읽기의 어려움을 호소한다.

한편 눈벌림 안진(divergence nystagmus)은 느린 성분이 눈모음 방향으로 움직이고, 빠른 성분이 눈벌림 방향으로 움직이는데 때때로 하방안진과 함께 발생하며, 뇌경부 연접 부위의 병변이나 소뇌기능 이상을 초래하는 일부 질환들에서 발견된다.¹³ 양쪽 외전신경마비는 눈벌림 마비(divergence palsy)나 근접반사의 자발적인 연속 운동과는 구별되어야 하는데, 후자의 근접반사 연속의 경우는 보통 측동 반응이 동반되며 단안주시 및 전정안반사 검사 수행 시에는 안구운동범위가 정상이라는 점으로 구별할 수 있다.

결론

이항눈운동은 단일 시표적 물체에 대한 양안시 고정을 가능할 수 있도록 두 눈을 서로 반대 방향으로 회전시키는 운동이다. 이항눈운동은 하기의 몇 가지 구별되는 자극에 의해서 유발된다. 하나의 시표적 형상이 양 눈 망막의 서로 다른 곳에 맺힘으로써 일어나는 망막상의 불일치에 의해서 융합 이항눈운동이 일어나며, 망막상의 흐림은 조절반응에 의한 이항눈운동을 일으킨다. 또 다른 중요한 자극으로는 시표적의 크기 또는 움직임에 의해서 유추되는 근위 감각(proximal vergence)이 있다. 이런 자극 유도성 이항눈운동은 기저에 상존하는 이항운동 긴장도(tonic vergence)에 중첩하여 작동한다. 반응에 의한 반응성 운동 이외에도 이항눈운동은 수의적으로 조절할 수 있는 자발 통제 하에 놓여 있다. 정상적인 상황에서, 융합 및 조절 유도 이항눈운동은 서로 긴밀하게 결합되어 있으며, 신경계의 상호 연결 고리에 의해서 서로에게 영향을 미친다. 이항눈운동은 보통 렌즈의 조절 작용 및 동공의 축소와 더불어 동시적으로 일어난다.

신속보기운동과 함께 일어나는 경우를 제외하면, 이항눈운동의 속도는 원활추종운동과 유사한 정도로 느리다. 그러나 대부분의 실제 상황에서, 이항눈운동은 양안의 망막 중심오목에 시표적의 이미지가 맺히도록 만들기 위해 신속보기운동 성분과 결합해서 작동한다. 이미 두 망막 중심오목에 이미지가 맺혀 있을 경우에는 움직이는 물체의 상을 따라 보는 원활추종운동성분과 함께 작동하기도 한다. 이항눈운동이 신속보기운동과 결합되어 있을 때는 이항눈운동 단독으로 작동하는 것보다 속도가 한결 빠르다. 이항눈운동의 핵상신경세포는 눈운동신경핵의 등가쪽 부분의 중뇌에 위치하며, 이항눈운동의 속도, 위치, 그리고 속도와

위치를 결합하는 신호들을 형성시킬 것으로 추정된다.

References

1. Toates FM. Vergence eye movements. *Doc Ophthalmol* 1974;37:153-214.
2. Leigh RJ, Zee DS. *The neurology of eye movements*. 5th ed. Oxford University Press, USA; 2015;520-556.
3. Howard IP, Sun L, Shen X. Cyclovergence and cyclovergence: the effects of the area and position of the visual display. *Exp Brain Res* 1994;100:509-514.
4. Wick B, Bedell HE. Magnitude and velocity of proximal vergence. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1989;30:755-760.
5. Fisher SK, Ciuffreda KJ, Tannen B, Super P. Stability of tonic vergence. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1988 ;29:1577-81.
6. Mays LE, Porter JD. Neural control of vergence eye movements: activity of abducens and oculomotor neurons. *J Neurophysiol*. 1984;52:743-761.
7. Mays LE. Neural control of vergence eye movements: convergence and divergence neurons in midbrain. *J Neurophysiol*. 1984;51:1091-1108.
8. Han YH, Kumar AN, Reschke MF, Somers JT, Dell'Osso LF, Leigh RJ. Vestibular and non-vestibular contributions to eye movements that compensate for head rotations during viewing of near targets. *Exp Brain Res*. 2005;165:294-304.
9. Prince SJ, Pointon AD, Cumming BG, Parker AJ. The precision of single neuron responses in cortical area V1 during stereoscopic depth judgments. *J Neurosci*. 2000;20:3387-3400.
10. Choi KD, Jung DS, Kim JS. Specificity of "peering at the tip of the nose" for a diagnosis of thalamic hemorrhage. *Arch Neurol*. 2004;61:417-422.
11. Ochs AL, Stark L, Hoyt WF, D'Amico D. Opposed adducting saccades in convergence-retraction nystagmus: a patient with sylvian aqueduct syndrome. *Brain*. 1979;102:497-508.
12. Rambold H, Kömpf D, Helmchen C. Convergence retraction nystagmus: a disorder of vergence? *Ann Neurol*. 2001;50:677-681.
13. Yee RD, Baloh RW, Honrubia V, Lau CG, Jenkins HA. Slow build-up of optokinetic nystagmus associated with down-beat nystagmus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1979;18:622-629.