



김성준

서울대학교 의과대학 안과학교실

Vision (Seeing vs. watching)

Seong-Joon Kim

Department of ophthalmology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

대뇌피질에서 약 55%의 영역이 시각 정보 처리에 관여하고 있다고 한다. 그만큼 처리해야 하는 정보가 많고 복잡하며 대뇌의 다른 기능에도 미치는 영향이 크다는 의미일 것이다. 각막과 수정체를 통해 들어온 빛이 망막 뒤쪽에 위치한 수용체, 시세포(photoreceptors)에서 전기신호로 변환되고 두극세포(bipolar cells)를 거쳐 망막신경절세포(retinal ganglion cells, RGCs)로 전달되어 시신경을 이루게 되며 외슬상핵(lateral geniculate nucleus, LGN)까지 가는 동안 영역별로 모이고 회전하고 교차하기도 한다. 시각신호는 LGN에서 시냅스 후 시각로부챗살(optic radiation)을 만들고 선조피질(striate cortex)의 특정 위치로 연결되며 비로소 전기신호로 전달된 각각의 요소를 판독할 자료로 사용된다. 선, 형태, 부피, 빛, 색, 질감, 위치, 움직임 등 시각신호를 만든 물체가 가지는 다양한 요소를 분석하여 대상의 특성을 파악하고 그에 따라 적절히 반응을 하는 것은 시피질 외의 중추가 관여한다. 시각에 대한 이번 강의에서는 망막의 특성, 시각의 전달 과정을 정리하고 기본적인 시피질 신호처리의 예로 입체시에 대해 안과 의사의 입장에서 알아보려고 한다.

Key Words: 시각, 시각경로, 입체시(vision, visual pathway, stereopsis)

눈에서 시피질로

1. 망막의 신호처리

빛이 광수용체인 시세포에 도달하기 위해서는 신경섬유층(nerve fiber layer), 신경절세포(ganglion cells), 무축삭세포(amacrine cells)와 두극세포(bipolar cells)로 구성된 감각신경망막(neurosensory retina)의 투명한 안쪽 층을 통과해야 한다. 광수용체층의 바깥 쪽은 망막색소상피(retinal pigment epithelium)층이다. 망막색소상피는 광수용체를 지지하고 시세포에 필수적인 비타민A 대사에도 관여하며 광수용체층을 통과한 눈 속의 빛을 흡수함으로써 후방산란(backscatter)을 줄이고 선명한 상을 유지하도록 돕는다.

인간은 세 종류의 원뿔(cone) 세포와 한 종류의 막대

(rod) 세포, 이렇게 네 종류의 광수용체를 갖고 있다. 대부분의 환경에서 우리의 시각은 다양한 강도의 빛에 반응할 수 있는 원뿔세포에 의해 매개된다. 원뿔 세포는 종류별로 각각 반응할 수 있는 빛의 파장이 다르다 - 짧은 파장(파랑), 중간 파장(초록), 긴 파장(빨강). 그러나 막대세포는 자연의 빛 강도에 반응하고, 색을 구별할 수 없으며, 야간의 환경에 효과적이다.

황반은 약 5.5 mm 직경으로 시신경유두의 귀쪽에 위치한다. 중심와는 1.5 mm 직경으로 황반 중심부에 위치하며, 중심소와는 0.35 mm 직경으로 중심와 중심에 위치한다. 중심와에는 1 mm²당 약 200,000개의 원뿔세포(망막 주변부의 15배)가 있어 뛰어난 시력을 얻을 수 있다. 신경감각 망막(neurosensory retina)은 세개의 층으로 구성되며 빛에 대한 반응 신호를 변환한다. 광수용체는 시신경절세포에 신호를 증폭하는 두극세포와 연결되고, 수평세포와 무극세포는 이 층의 다른 세포와 수평연결을 형성한다. 황반에서는 높은 공간시(spatial acuity)를 얻기 위해 각 두극세포가 하나의 광수용체로부터 신호를 받지만 망막 주변부에서는 두극세포가 여러 개의 광수용체로부터

Seong-Joon Kim

Department of ophthalmology, Seoul National University College of Medicine, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea

Tel: +82-2-2072-2438 Fax: +82-2-741-3187

E-mail: ophjun@gmail.com

신호를 받아 합친다.

2. 망막신경절세포

망막신경절세포(retinal ganglion cells, RGCs)는 시자극을 감지하는 특화된 기능에 따라 세 종류로 구성된다. 80%가 midget cells 이고 10%가 parasol cells이며 나머지 10%가 다른 형태의 세포이다. Midget cell은 “P” (parvocellular) 경로를, parasol cell은 “M”(magnocellular)경로를 형성한다.

3. 시신경

망막의 신경절세포에서 시작되는 축삭이 시신경유두에 모여서 공막을 뚫고 안구 밖으로 나와 시신경(optic nerve)이 된다. 황반에서 시작한 축삭들은 시신경유두의 귀쪽에 켜기 모양으로 들어가며, 시신경이 시신경교차에 가까이 갈수록 황반부 섬유들은 시신경의 중앙에 위치하고 망막의 다른 부위에서 오는 섬유들도 각각 망막에 해당하는 부위를 차지한다. 즉 망막의 상이측에서 오는 신경 섬유는 시신경의 상이측부에, 망막의 하이측에서 오는 신경 섬유는 시신경의 하이측에 위치한다. 황반을 중심으로 망막의 비측과 이측을 나누는 수직선은 시신경교차로 갈수록 내회전을 하여 시신경교차에서는 45도 내회전을 한 상태가 되며 이 양측의 시신경이 모여서 시신경교차가 된다. 시신경에는 뇌로부터 오는 원심성 섬유도 포함되어 있다.

시신경은 엄밀하게 신경이 아니라 중추신경계의 일부이다. 시신경의 축삭은 희소돌기아교세포(oligodendrocyte)에 의해서 수초가 형성되어 있고 대개 120만 개 정도이며 세포체는 망막신경절세포이다. 이 신경 섬유들은 시신경교차에서 부분교차하며 가쪽무릎핵에서 끝난다. 시신경의 길이는 대개 50 mm로 안구내, 안와내, 시신경관내, 두개내의 네 부위로 나누어진다.

4. 시신경교차

시신경교차(optic chiasm)의 가로 길이는 10-20mm, 전후 길이는 4-13mm, 두께는 3-5mm이다. 시신경교차에서는 200만개가 넘는 섬유들이 있으며 교차 및 비교차 섬유는 53:47로, 교차하는 섬유가 많다.

5. 시각로

시각로(optic tract)는 시신경교차를 나와 다리사이 공간에서 양쪽으로 나뉘어지며 뒤대뇌동맥(posterior cerebral artery) 위로 대뇌다리(cerebral peduncle)를 돌아서

외슬상체로 간다. 그러나 일부 동공운동 섬유들은 시각로를 떠나 덮개앞구역(pretecal area)으로 가고, 또 일부 섬유들은 시상하부 외실주위핵으로 가는데, 이곳은 시자극으로 일주기(diurnal)리듬을 제어하는 부위로 보인다.

6. 외슬상체

외슬상체(lateral geniculate body, LGB)는 시상의 일부이며, 같은 쪽 망막 황반부의 외측에서 오는 신경 섬유와 반대쪽 망막 황반부의 내측에서 오는 신경 섬유들이 모여서 이루어진다. LGB는 아래에서 위까지 여섯 층으로 구분되어 있는데, 같은 쪽 눈에서 오는 신경 섬유들은 2,3,5층으로 가고 반대쪽 눈에서 오는 신경 섬유들은 1,4,6층으로 간다. 1,2층은 큰 세포를 가지고 있고(magnocellular layer), 3,4,5,6층은 작은 세포를 가지고 있다(parvocellular layer).

7. 시각부챗살

시각부챗살(optic radiation)은 LGB에서 일차시피질(primary visual cortex, 브로드만 영역 17, V1)로 연결되며 반구간 교차는 없다. 시각부챗살은 외시상층(external sagittal stratum)을 지나며 가운데, 위, 아래의 세 부분으로 나누어진다.

가운데 부분은 황반에서 오는 신경 섬유로 위와 아래 부분 사이에 위치해 있고 후두엽의 후극에 투사한다. 윗부분은 상부 망막에서 오는 신경 섬유를 포함하며 LGB의 내측으로부터 와서 후두엽의 조거열(calcarine fissure) 위(cuneus)로 투사한다. 아랫부분은 하부 망막에서 나오는 신경 섬유를 포함하며 LGB의 외측부로부터 와서 측두엽 안에 있는 가쪽뇌실(lateral ventricle)의 아래 모서리(inferior horn)를 돌면서 마이어고리(Meyer's loop)를 형성한 후 조거열 아래(lingual gyrus)로 간다.

8. 선조피질

사람에서 일차 시피질은 조거열의 위와 아래에 위치해 있고 흰 선상의 줄(striae of Gennari)이 보이기 때문에 선조피질(striate cortex)이라 불린다. 선조피질은 브로드만 영역 17로 시각 영역 V1이라고도 하며, 대뇌반구의 후극을 포함한 후두엽의 내면으로 앞으로는 두정후두엽(parietooccipital fissure)까지 이른다. V1은 뇌피질의 3.5%를 차지한다.

9. 선조피질에 대한 망막의 대응

후두엽의 후극부는 중심와가 차지하고 앞쪽으로 갈수록

록 주변부 망막에서 오는 신경섬유가 차지하며 조거열의 제일 앞쪽은 각 눈에서 오는 단안 시야가 차지한다. 망막의 윗부분에서 오는 신경섬유는 조거열의 위에, 아랫부분에서 오는 신경섬유는 조거열의 아래에 위치한다. 중심 10도의 시야는 후부 선조피질의 50%를 차지하고 중심 30도의 시야는 선조피질의 80%를 차지한다.

10. 이차 피질 시각영역

1) V2(parastriate cortex, 영역 18)

V1 다음의 후두엽을 차지한다. V2는 선조외피질 중 가장 큰 시각영역이며 망막과 시상배개(pulvinar)로부터 투사를 받는다. 이곳의 세포는 색상 및 방향(orientation) 선택적이다. 양안에서 오는 정보가 이곳에 모여, 망막의 공간 불일치(spatial disparity)에 반응하여 중심과 주변부의 깊이를 인식한다.

2) V3, V3A (peristriate cortex)

후부 두정엽과 측두엽의 일부를 차지한다. V3는 브로드만 영역 18과 19 사이에 위치하며 크기가 비교적 작다. V3와 V3A에 있는 대부분의 세포는 양안으로부터 자극을 받으며, V3는 V5와 마찬가지로 자극의 움직임 분석에 관여하고 형태 분석에도 관여한다.

3) V1, V2, V3, V3A와 영역 19

V2, V3, 영역 19의 세포는 양안으로부터 신호를 받으며 그들의 수용장은 양안 망막의 대응 부위에서 온다. 선형 자극, 즉 틸, 경계, 막대 등에 반응하며 자극 방향에 민감하다.

4) V4

시야의 중심 30도로부터 오는 정보를 처리하며 헷이랑과 방추이랑(fusiform gyrus, occipitotemporal gyrus)에 위치해 있고 V1과 V2로부터 투사를 받는다. V4는 형태를 인식하는 데 중요한 역할을 하며 색깔과 밝기, 물체의 움직임을 인식하는 데에는 별로 관여하지 않는다. 그러나 색깔 이상과 무늬인식장애, 얼굴인식불능증(prosopagnosia)이 나타난 예도 있다.

5) V5 (MT, MST)

V5는 아래관자고랑(inferior temporal sulcus)의 상행각(ascending limb)과 바깥후두고랑(lateral occipital sul-

cus)이 만나는 지점의 후방에 위치한다. 방향 감수성(direction sensitivity)을 가지고 자극이 움직이는 방향의 분석에 관여한다. 이 부위 병변으로 인해 움직이는 물체에 대한 추종운동이나 신속운동에 이상이 생길 수 있으나 움직이지 않는 물체에 대한 신속운동에는 지장이 없다.

입체시

두 눈의 망막으로 들어온 상을 비교하여 사물의 깊이를 판단하는 일은 너무나 자연스럽게 이루어지기 때문에 대부분의 사람들은 의식하지도 못한 채 살아간다. 그래서 요즘 우리가 입체시가 필요하다고 느끼는 때는 3D 영화를 보는 순간뿐일지 모른다. 하지만 자동차나 전철을 타거나 테니스 경기를 할 때, 스키를 타면서 한 눈을 감아 보면 우리가 생각하는 것보다 두 눈을 쓰는 것 또는 입체시가 중요하다는 사실을 깨달을 수 있다.

망막에 맺힌 상은 2차원의 평면 이미지이지만 우리는 3차원의 세상을 보고 있다. 사람을 포함한 동물들에게 어떤 물체가 얼마나 멀리 떨어져 있는지를 알 수 있는 능력은 매우 중요하다. 마찬가지로 사물의 3차원적인 형태를 파악하는 일도 상대적 깊이 지각이 요구되는 행위이다.

1. 깊이를 느낀다는 것

이미 사물의 대략적인 크기를 알고 있다면 경험이 거리를 유추하는데 도움이 된다. 예를 들어 사람, 나무, 고양이가 있다면 크기로 앞뒤 분간을 할 수 있다. 한 물체가 다른 물체를 일부 가리고 있다면 앞의 물체가 가깝다고 알게 된다. 도로와 같이 수평선이 있는 경우에는 멀어질수록 가까워지는데 미술에서도 많이 쓰이는 매우 강력한 단서이다(원근법perspective). 빛이 위쪽에서 비친다면 벽에서 튀어나온 부분은 위가 밝을 것이고 들어간 부분은 아래가 밝다(shadow casting). 깊이 지각의 또 다른 중요한 단서는 시차(parallax)인데, 우리가 고개를 좌우로 돌리거나 차를 타고 움직일 때 근거리의 물체는 우리의 움직임과 반대로 빨리, 멀리 있는 물체는 같은 방향으로 천천히 움직이는 현상을 말한다. 사물이 가까울 때에는 조절 작용과 눈모음의 반응이 일어나는데 이런 반사적인 반응의 정도 역시 사물의 위치를 뇌가 파악하는데 이용된다.

사람은 눈모음과 눈벌림의 범위가 좁기는 하지만 두 눈을 벌리거나 모으며 상대적 방향을 바꾸어 두 개의 상을 하나로 맞추고 있다. 눈의 조절 정도와 상대적 위치의

조정이 사물의 거리를 파악하는 기본 원리가 된다.

눈모음과 눈별림 외에 깊이 지각에 필요한 위의 단서는 모두 한 눈으로 들어올 수밖에 없는데 가장 중요한 깊이 지각 체계로 알려진 입체시는 두 눈으로 들어오는 정보를 함께 이용한다. 한 물체를 주시하더라도 두 눈의 망막에는 약간 다른 상이 맺히는데 뇌에서는 이 둘을 비교해서 사물의 상대적인 깊이를 계산하게 된다.

2. 입체시의 원리

한 관찰자가 P점을 주시한다고 하자. 두 눈의 중심와(F)에 P의 상이 맺히도록 눈의 위치를 조정한다는 의미인데, 이 때 P와 거리는 같지만 다른 위치에 있는 Q점의 상은 두 눈 망막에 각각(QL과 QR) 맺힐 것이다. 이 때 QL과 QR은 두 망막의 대응점(corresponding point)이라고 한다. 물론 두 눈의 중심와까지리는 대응점이다.

Q를 주시하고 있을 때 그보다 앞에 있는 점 Q'는 같은 방향에 있기는 하나 대응점이 아닌 곳에 상을 만든다. 이상들은 Q의 대응점보다 더 바깥에 맺히는데 만약 Q보다 먼 곳에 시표가 있다면 그 상은 반대로 Q의 대응점보다 안쪽에 맺히게 될 것이다. 두 눈의 대응점보다 더 안쪽에 상이 맺히는지 바깥쪽에 맺히는지에 따라 뇌에서는 더 멀리 있거나 가까이 있다고 인식한다. P와 Q는 뇌에서 같은 거리라고 느끼는 대응점 세트에 포함되어 있으며 이렇게 뇌가 같은 거리라고 느끼는, 즉 한 세트의 대응점을 공유하는 눈으로부터 일정한 거리에 있는 면을 호롭터(horopter)라고 한다. P와 Q는 동일한 호롭터 상에 있게 된다. 참고로 호롭터는 같은 거리로 인식한다고 해서 실제로 우리 눈에서 동일한 거리에 있는 점을 이어 놓은 공모양 또는 일정 거리 앞에 있는 평면은 아니며 둥그스름한

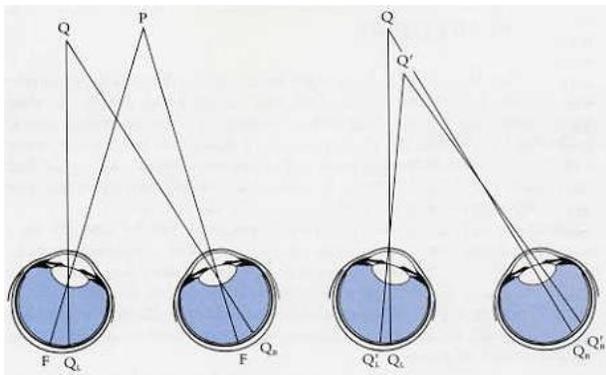


그림 1. 입체시의 원리, 호롭터

면의 형태를 가진다.

한 물체를 주시하고 있을 때 다른 물체의 상이 대응점 바깥쪽에 맺히면 그 물체는 더 가까이, 안쪽에 맺히면 더 멀리 있는 것으로 분석하여 시차(disparity)를 유발한다. 시차가 크면 두 개의 서로 다른 거리에 있는 시표로 인식하는데, 수평방향으로 2도(망막에서의 거리 0.6mm)를 넘지 않는 차이라면 뇌에서는 하나로 느낀다. 이렇게 시차가 있는 물체를 하나로 인식하는 과정에서 입체시가 나타난다. 수직방향의 시차는 거의 없어야 입체시가 가능하다.

3. 입체시의 의미

두 눈으로 보는 것이 한 눈으로 보는 것보다 형태와 색깔 인지에 유리하고 우리 몸과 주위 환경의 동적 관계를 이해하는데 도움을 주기 때문에 수행능력도 향상시키는 하나 3차원 세계에서 고개를 자유롭게 움직일 수만 있다면 시운동 능력에 입체시가 별로 중요하지 않다는 주장도 있다. 한편으로는 거리 예측과 절대깊이 측정 등의 원리를 이용하여 우리 뇌는 한 눈으로도 입체시를 느낄 수 있다는 사실을 제시하며 입체시가 양안시나 불일치의 산물이 아니라는 주장을 펼치는 사람도 있다.

하지만 입체시로 인한 일상생활에서 이득은 분명히 있는 것 같다. 입체시가 좋으면 조각 맞추기, 구슬 꿰기, 물 따르기 등 감각운동능력의 확실한 향상을 보였다. 입체시가 좋지 않으면 캐치볼 능력이 떨어졌으며 복잡한 시각운동 수행능력이 감소했다. 5-9세 어린이에서 읽기, 쓰기, 수학, 단어외우기 등 학습능력의 저하가 나타나기도 했다. 사시수술은 동적 시야를 향상시켜서 계단을 오르내리거나 자동차를 운전하는 등의 능력을 향상시킨다는 연구 결과도 있다.

특히 영아내사시의 조기 수술은 양안시 기능 호전에 큰 역할을 한다고 알려져 있다. 입체시와 감각운동 발달에 도움이 되며 영아내사시 치료 후 입체시가 좋다면 사시의 재발이나 외사시로의 이행 가능성이 떨어지므로 자아상과 자신감의 고취, 직업 선택의 기회 확대, 대인관계의 만족, 학업이나 운동으로 성공할 가능성이 높아진다는 다소 과장된 주장도 있다. 입체시 향상이 약시의 가능성을 줄여 이로 인한 삶의 질 향상에 기여한다고도 한다.

어려서 입체시 발달이 어느 정도 이루어져 있었다면 수년 수십 년이 지난 후에도 수술 후 입체시를 얻을 수 있다. 사시의 양상이나 약시 여부와 관계없이 성인 사시 수술 후 86%의 환자가 주변융합을 얻었다. 주변융합은 장기적인

눈위치 안정에 도움이 된다고 알려져 있다.

결론

시각은 다른 감각과 마찬가지로 출생 이후에 받아들여
게 되는 정보를 통해 완성되는 과정을 거친다. 망막과 시
각경로, 시피질의 시냅스 형성, 두눈보기를 위한 오른눈과

왼눈 대응 시각정보 흐름과 통합체계의 완성이 출생 이후 수
년 동안 이루어진다. 입체시는 대뇌에서 이루어지는 두눈
융합의 대표적인 예로 공간 지각에 중요한 역할을 한다.

증상과 징후에 따라 시각경로에서 병변의 위치를 찾아
서 적절히 치료를 하는 것과 함께 정상적인 시기능 발달을
위한 노력도 병행되어야 될 것이다.