

안구운동 생리 및 기록방법

아주대학교 의과대학 이비인후과학교실

정연훈

Physiology and Recording Methods of Eye Movement

Yun-Hoon Choung, DDS, M.D.

Department of Otolaryngology, Ajou University School of Medicine

안구운동의 생리 (Physiology of Eye Movement)

안구운동의 종류는 다양하지만 기능적 측면에서 크게 두 가지로 대별된다. 하나는 물체가 망막의 중심 외에 잘 머물러 있도록 주시(gaze)를 안정(stabilize)시켜 선명한 시력을 확보하게 하는 것으로 여기에는 전정성 안구운동(vestibular eye movement), 시운동성 안구운동(optokinetic eye movement) 및 시고정(visual fixation)이 포함되고, 다른 하나는 관심 있는 물체를 향하여 눈을 움직여 물체가 중심외에 멎히도록 주시를 이동(gaze shift)시키는 것으로 시추적운동(smooth pursuit), 단속운동(saccade) 및 이향운동(vergence) 등이 이에 속한다.¹⁾

이러한 안구운동계에 이상이 생기면 안구는 원하는 위치에 머물러 있지 못하고 그에 따라 물체의상이 중심와로부터 벗어나게 되므로 이를 교정하기 위한 안구의 이동이 나타나게 되는데, 이때 일어나는 교정성 안구운동이 안진(nystagmus)의 형태로 발생할 수 있다. 안진은 안구가 규칙적으로 왔다갔다(to-and-fro)진동(oscillation)하는 것이라고 정의할 수 있다. 안진은 비록 일정 부위의 병변이 여러 종류의 안진을 유발시킬 수 있고, 여러 가지 기전에 의해서 발생할 수 있지만, 말초전정계에서 대뇌에 이르는 복잡한 안구

운동계의 이상을 반영하는 유용한 측향화 및 국소화 징후로서 평형장애 환자에서 기질적 질환의 원인을 밝히는데 도움을 줄 수 있다.

1. 안구운동 좌표계에서 운동, 축, 평면의 정의

안구운동은 삼차원 좌표에서 표현할 수 있는데, 수평면(horizontal plane)에서 전후로 진행되는 축을 X축, 전두면(frontal plane)에서 좌우로 진행되는 Y축, 시상면(sagittal plane)에서 상하로 진행되는 축을 Z축이라고 표시한다. 선운동 중 상하 운동은 heave 혹은 bob, 전후 운동은 surge, 좌우 운동은 sway로 표시한다. 각운동(angular movement)은 운동이 일어나는 면을 따라 명명하는데,^{2,3)} yaw란 아기의 도리도리 같은 좌우회전으로 X-Y축으로 만들어지는 평면(yaw 평면) 내에서

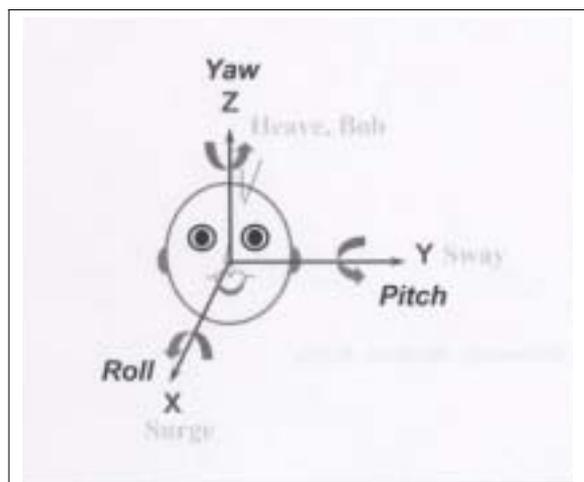


Fig. 1. 3차원 좌표계에서의 축, 선운동, 각운동의 정의.

• 교신저자 : 정 연 훈
443-721 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지
아주대학교 의과대학 이비인후과학교실
Tel: 031-219-5263, Fax: 031-219-5264
E-mail: yhc@ajou.ac.kr

일어나는 Z축을 중심으로 한 회전운동을 말하며, pitch란 끄덕 끄덕하는 상하회전으로 X-Z축으로 만들어지는 평면(pitch 평면) 내에서 일어나는 Y축을 중심으로 한 회전 운동을 말하고, roll이란 기울어지는 회전으로 Y-Z축으로 만들어지는 평면(roll 평면) 내에서 일어나는 X축을 중심으로 한 회전 운동을 지칭한다 (Fig. 1).

2. 안구운동 용어

안구운동은 한 눈의 운동인 단안운동(duction)과 두 눈의 운동인 양안운동(version)으로 나눌 수 있다. 단안운동에서 상하, 좌우의 운동에는 -전(轉, -duction)이라는 단어를 뒤에 붙이는데, yaw 평면에서 안구가 코 쪽으로 회전하면 내전(adduction), 귀 쪽으로 회전하면 외전(abduction)이라 하고, pitch 평면에서 위를 향하면 상전(elevation, or sursumduction), 아래로 향하면 하전(depression, or deosumduction)이라 한다. Roll 평면에서는 안구의 상극이 코 쪽으로 회전하면 내회전(intorsion), 귀 쪽으로 회전하면 외회전(extorsion)이라 한다. 양안운동에는 편시(-偏視, -version)라는 단어를 뒤에 붙여 우측으로 볼 때를 우편시(dextroversion), 좌측으로 볼 때는 좌편시(levoversion), 위를 쳐다볼 때는 상편시(elevation, sursumversion), 아래를 볼 때는 하편시(depression, deosumversion), 안구의 상극이 우측으로 움직이면 우회편시(dextrocyclusversion), 상극이 좌측으로 움직이면 좌회편시(levocyclusversion)라고 한다.

두 눈의 움직임의 크기와 방향이 모두 같은 경우를 공동운동(conjugate)이라 하며, 두 눈의 움직이는 방향 또는 크기가 다른 경우를 비공동운동(disconjugate)이라고 한다. 이 중 방향이 반대인 경우는 이항운동(vergence)이며, 두 눈이 멀어지는 쪽으로 움직이면 눈벌림(divergence), 코 쪽으로 모이면 눈모임(convergence)이라 한다. 양안운동을 나타내는 version도 종종 공동운동(conjugate)이라는 용어와 같은 의미로 사용되므로 주의를 요한다.⁴⁾

임상에서 관찰되는 안구운동은 상하, 좌우로 움직이는 선운동으로 보이지만 실제로는 회전중심이 안구 중앙에 위치하는 회전운동이다. 안구는 시선에 수직인 적도면에 놓여있는 축을 중심으로 회전하게 되는데, 이 면을 리스팅 평면이라 한다. 리스팅의 법칙에

서 말하는 일차 위치란 순수한 수직 혹은 수평 회전운동(rotation)을 시키면 회선(torsion)이 발생하지 않는 즉 회선이 제로인 점을 일컫는다. 그러나 일반적으로 제일 안위(primary position)란 안구가 정면을 향하고 있는(straight ahead), 다시 말하면 시축이 머리의 정시상면(midsagittal plane)과 평행한 중심 위치(central position)와 같은 개념으로 쓰이고 있다. 이차위치(secondary position)란 내전, 외전, 상전, 하전과 같이 순수한 수평, 혹은 수직 회전이 오직 한번 일어난 후에 안구가 취하는 위치를 일컬으며, 삼차 위치(tertiary position)란 중심 위치로부터 수평 및 수직 회전이 복합된 회전 후에 안구가 취하는 위치를 지칭한다, Fig. 2는 안구가 제일 안위로부터 9개의 주요 위치(cardinal position)를 취하는데 있어 리스팅 평면에 놓여있는 한 개의 축을 중심으로 한번의 회전에 의해 도달될 수 있음을 보여준다. 예를 들어 안구가 9개의 주요위치 중 상외측을 향하고 있다면 안구는 외전 후 상전, 또는 상전 후 외전을 해야 그 위치에 도달할 것 같지만 실제로는 Fig. 2에서 보이는 것처럼 리스팅 평면에 있는 한 개의 축을 중심으로 한번의 회전에 의해 도달할 수 있다.

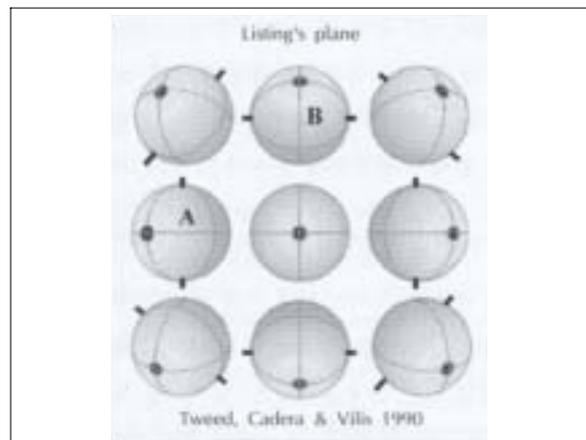


Fig. 2. 리스팅 평면, 우안. 우측 안구의 외전(A) 및 상전(B)도 선형운동이 아니라 회전운동임을 쉽게 알 수 있다.

3. 외안근의 기능과 해부학적 위치

안구를 움직이는 외안근(extraocular muscle)은 총 6개가 있는데, 4개의 직근(rectus muscle)과 2개의 사근(oblique muscle)으로 구성되어 있다. 외직근(lateral

rectus muscle), 내직근(medial rectus msucle), 상직근(superior rectus msucle) 및 하직근(inferior rectus msucle) 등 4개의 직근과 상사근(superior oblique muscle)은 안와의 뒤쪽에 위치한 Zinn 고리(annulus of Zinn)로부터 기시(origin)하고, 하사근(inferior oblique muscle)은 안와의 앞, 코쪽 아래의 뼈에서 기시한다. 4개의 직근은 안구의 적도면보다 앞쪽에 부착(inserted) 되는데, 내직근은 내측에, 외직근은 외측에, 상직근은 상측에, 하직근은 하측에 위치하게 된다. 상사근과 하사근은 안와의 코쪽에서 시작하여 안구의 앞쪽에서 뒤로 진행하여 적도면보다 뒤쪽에 부착되는데, 상사근은 상외측에, 하사근은 하외측에 부착하게 된다 (Fig. 3).

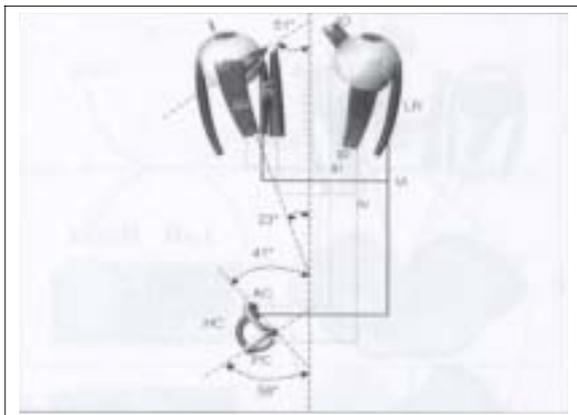


Fig. 3. 반고리관과 외안근의 기하학적 관계. 반고리관과 연결된 외안근의 쌍은 각각의 반고리관이 흥분되었을 때 작용하는 외안근을 표시한다.

III, 동안신경핵; IV, 활차신경핵; VI, 외향신경핵; AC, 앞반고리관; HC, 가쪽반고리관; IO, 하사근; IR, 하직근; LR, 외직근; MR, 내직근; PC, 뒤반고리관; SO, 상사근; SR, 상직근.

외안근의 기시 및 부착되는 곳은 해당 근육의 작용(pulling action) 방향을 결정하므로 외안근의 작용을 이해하기 위해선 필수적이다. Fig. 3은 앞서 언급한, 외안근이 안구에 부착되는 지점을 나타낼 뿐만 아니라, 외안근의 기능을 이해하는데 중요한 또 다른 해부학적 사실을 나타내고 있다. 계통발생학적으로 안구 운동은 머리가 움직이는 동안 상을 안정되도록 하기 위해 발전하게 되었는데, 두부의 운동은 전정기관에 의해 감지되게 되고, 반고리관과 외안근의 작용방향은 기하학적으로 유사하게 정렬되어 있다는 점은 이

를 뒷받침한다.⁵⁾

4. 외안근의 신경지배

외안근 중 내직근, 상직근, 하직근, 하사근 4개 근육은 3번 동안(oculomotor) 신경이, 상사근은 IV번 뇌신경인 활차(trochlear)신경이, 외직근은 VI번 뇌신경인 외향(abducent)신경이 지배한다. 한편, 뇌간에서 시작되는 이들 뇌신경의 핵은 상직근과 상사근을 제외하고는 모두 동측 핵의 지배를 받는다. 상직근을 지배하는 신경섬유는 동안신경의 상직근 아핵(subnucleus)의 하부 1/3에서 반대편 핵으로 교차한 뒤 동안신경속(oculomotor fascicles)으로 나오고,⁶⁾ 열두 개의 뇌신경 중 유일하게 뇌의 뒤쪽으로 나오는 활차신경은 중뇌(dorsal)쪽 실질에서 교차한 뒤 중뇌를 빠져 나와 앞으로 진행한다. 즉 6개의 외안근 중에서 상직근과 상

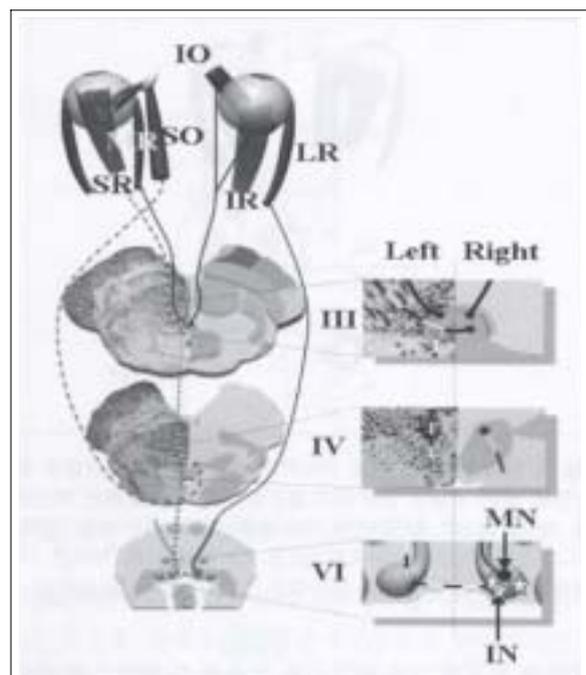


Fig. 4. 외안근의 신경지배. 상직근과 상사근은 모두 반대편 핵의 지배를 받으며(점선), 외향신경핵 신경원 중 별표로 표시한 좌측 중간신경원의 축삭은 핵위치에서 반대편 우측으로 교차하여 우측 내측종속을 따라 우측 내직근 아핵으로 연결되어 우측 내직근을 지배하게 되며, 이러한 연결 때문에 수평주시시 공동 운동이 일어나게 된다.

III, 동안신경핵; IV, 활차신경핵; VI, 외향신경핵; IN, 중간신경원; IO, 하사근; IR, 하직근; LR, 외직근; MLF, 내측종속; MN, 운동신경원; MR, 내직근; SO, 상사근; SR, 상직근.

사근은 반대편 핵에서 시작된 신경에 의해 지배를 받는다. 내직근은 동안신경핵중 내직근을 지배하는 3개의 내직근 아핵의 동측 지배를 받지만, 이들 3개의 아핵들은 반대편 외향신경핵에서 시작된 중간신경원의 축삭과 내측중속을 통하여 연결되어 있으므로, 수평 공동주시시 내직근은 반대편 외향신경핵의 영향을 받게 한다(Fig. 4).

5. 외안근의 기능

안구운동 및 안진의 방향을 이해하는데 가장 중요한 외안근들의 기능은 Table 1과 같다.⁷⁾

Table 1. 외안근의 작용

	1차 작용	2차 작용	3차 작용
내직근	내전	-	-
외직근	외전	-	-
상직근	상전	내회전	내전
하직근	하전	외회전	내전
상사근	내회전	하전	외전
하사근	외회전	상전	외전

일반적으로 한 개의 근육이 수축을 하면 한 개의 운동이 일어나게 된다. 한 개의 운동을 만드는 작용자(mover)란 의미로 한 방향으로 운동을 일으키는 작용근(agonist muscle)과 반대 방향의 운동을 일으키는 길항근(antagonist muscle)이 있다. 한 방향으로의 운동을 일으키는 근육이 여러 개 있는 경우를 협동근(synergist muscle)이라고 하며, 안구운동에서는 이음쇠근(yoke muscle)이라 표현한다(Fig. 5). 즉, 안구의 회전 운동시 동시에 작용하게 되는 외안근의 짝(양쪽 안구에 각각 하나의 근육)을 말한다. 일측 외직근의 이음쇠근은 반대편 내직근이며, 이들 두 근육을 제외한 나머지 4개의 외안근 사이에는 이음쇠근을 찾는 일정한 규칙이 있는데 즉, 좌우, 상하, 직사를 서로 바꾸면 된다. 예를 들어 우측 상방을 주시할 때는 우상직근이 작용하게 되는데 이의 이음쇠근은 앞의 규칙처럼 세가지를 바꾼 좌하사근이 된다. 모든 안구 운동시 이음쇠근과 반대되는 길항근 쌍은 이와 동시에 웨일론의 상반신경지배 법칙(Sherrington's law of reciprocal innervation)에 의해 억압된다.

6. 공동주시

수평 공동주시(conjugate gaze)를 하는 경우에서, 수평공동 안구운동을 담당하는 구조물들은 주로 교뇌의 피개(tegmentum)에 위치한다. 수평공동주시에서 이용되는 근육은 편측의 외직근과, 반대편의 내직근이므로 이들에게 명령을 보내는 외향 신경핵과 반대편 동안신경의 내직근아핵(subnuclei)이 동시에 흥분해야 하는데, 이러한 명령은 최종적으로 외향신경핵에서 시작되므로 외향신경핵을 수평주시 중추라 하며, 최종동통로(common final pathway)라고도 한다. 외향신경핵은 동측의 외직근을 지배하는 운동 신경원(motor neuron)과, 동안신경의 반대편 내직근아핵을 지배하는 중간신경원(interneuron)의 두 가지 신경원으로 이루어져 있는데 후자를 핵간 신경원(internuclear neuron)이라고도 한다. 중간신경원의 축삭은 Fig. 4에서와 같이 외향신경핵 수준(level)에서 곧바로 교차하여 반대측 내측중속(medial longitudinal fasciculus)을 따라 상행하여 동안신경핵내의 내직근아핵으로 연결되어 그 쪽의 내직근을 지배하게 된다.^{8,9)}

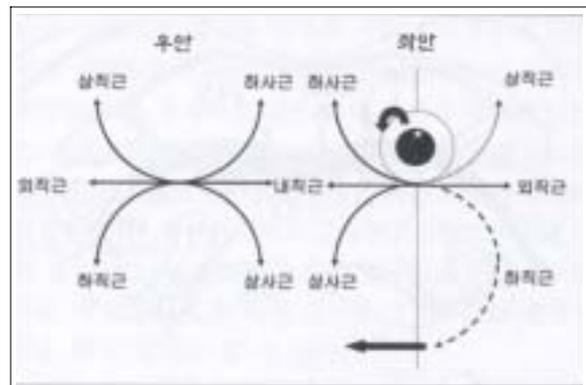


Fig. 5. 외안근의 작용.

7. 안진의 기초

안구가 어느 한 위치에 움직이지 않고 있어야 하나, 안구가 저절로 서서히 움직이는 경우 원래의 위치로 되돌아가려는 빠른 보상운동이 발생한다. 이러한 느린 움직임과 동반되는 빠른 안구 움직임을 안진(nystagmus)이라 한다. 안진은 규칙적이고 반복적인 눈동자의 진동을 칭한다.

모든 안진은 주시를 유지시키는 기능의 이상에 의해 발생한다. 주시를 한 곳에 유지시키는 행위는 시각, 전정계의 정보와 뇌간 및 소뇌를 포함한 중추신경계의 주시유지회로(gaze holding network)의 원활한 기능에 이상이 생기면 안진이 발생한다. 주시를 안정되게 유지시켜주는 기전은 크게 시고정(fixation), 전정안반사(vestibulo-ocular reflex), 주시유지(gaze holding) 세 가지로 대별할 수 있다.¹⁰⁾

물체의 상(image)이 선명하게 보이기 위해서는 보려고 하는 물체가 망막의 중심 0.5° 내에 위치해야 하며, 움직임은 초당 5° 미만이어야 한다. 이러한 역할을 담당하는 안구운동의 유형 중 시고정의 기능은 망막에 맺힌 상의 움직임(drift)을 시력 정보로부터 파악하여 이를 교정해 주기 위한 안구운동을 만들어 주며, 불수의적이며 불필요한 단속운동(saccades)이 일어나지 못하도록 한다. 만일 상기 현상들이 발생하면 망막 중심부에서 표적이 벗어나게 되는 상유동(retinal slip)이 발생하므로 선명한 상이 맺혀지지 않게 되며 이를 교정하기 위해 안진이 발생할 수 있다. 안구를 움직이지 않도록 하는 시고정은, 태어나서 10세 이전까지 망막으로부터 들어오는, 초점이 잡힌, 선명한 상에 대한 정보가 대뇌로 정확히 전달되어 발달하게 되는데, 이 시기에 한쪽 눈 혹은 양쪽 시력이 상실되면 안진이 발생할 수 있다.¹¹⁾

이밖에 전정계의 긴장도(vestibular tone)에 이상이 있을 때, 그리고 신경적분 혹은 주시유지 기전의 손상 시에도 안진이 발생하게 되지만 이러한 세 가지 기전 이외에, 원할추종운동계, 단속운동계, 시운동계(optokinetic system), 이향운동계(vergence system)의 기능 이상으로 주시가 방해받을 때도 안진이 발생할 수 있다.

8. 안진의 종류

안진은 병소의 위치, 원인, 유발인자, 및 양상에 따라 다양하게 분류된다. 좁은 의미의 안진은 주시점에서 벗어나는 느린 성분과 이를 교정하는 빠른 성분의 안구운동으로 구성된 격동안진(jerk nystagmus)만을 의미하는데, 느린 성분과 빠른 성분의 구분이 없는 정현파양(sinusoidal) 안진인 진자형(pendular) 안진을 포함하기도 한다.¹²⁾

안진은 생후 3개월 이전에 나타나는 선천성(congenital) 안진과 그 이후에 발생하는 후천성(acquired) 안진으로 나누기도 한다. 후천성 안진은 어지럼, 동요시(oscillopsia) 등이 급성으로 나타나며, 선천성 안진은 서서히 진행되는 흐려보임(blurred vision)을 호소하게 된다. 안진을 생리적(physiologic) 안진과 병적(pathologic) 안진으로 나누기도 하는데, 전자에 속하는 것으로는 극위(end point)안진, 시운동성(optokinetic)안진, 회전(rotation) 및 온도(caloric)유발 안진 등이 있다. 안진은 외부로부터의 유발자극 없이 저절로 나타나는 자발(spontaneous)안진과 회전, 온도에 의한 자극, 머리 위치 및 주시(gaze)를 변화시킬 때 나타나는 유발(induced)안진으로 나누기도 하는데 후자의 경우 해당 유발 조건에서 나타나야 정상이지만, 나타나지 않거나 그 양상이 정상적인 반응과 다를 때는 병변이 있음을 시사한다.

안진은 한쪽 눈에서만 나타나는 단안(monocular) 안진과 양쪽 눈에서 나타나는 양안(binocular) 안진으로 나눌 수도 있는데, 점두연축(spasmus nutans), 상사근 경련(superior oblique myokymia) 등은 대표적인 단안안진이다. 양안안진은 안구운동의 방향 및 양상이 양안에서 똑같은 공동(conjugate) 안진과 방향과 양상이 서로 다른 비공동(disconjugate) 안진으로 나눌 수 있다. 비공동안진은 해리(dissociated) 안진이라 부르기도 하며, 특히 양안의 운동 방향이 서로 정반대인 경우는 상위(disjunctive) 안진이라고 한다. 시소(see-saw) 안진 및 수렴(convergence)안진은 각각 대표적인 수직, 수평 상위안진의 일종이다.

격동안진의 경우, 빠른 성분의 방향으로 주시할 때만 안진이 나타나는 경우는 1도 안진, 제일 안위에서도 안진이 나타나면 2도 안진, 느린 성분의 방향을 포함한 모든 위치에서 안진이 나타나면 3도 안진이라고 한다. 1912년 Alexander는 말초 전정계에 이상이 있는 환자의 안진은 느린 성분을 볼 때 보다 빠른 성분을 볼 때 더욱 강하게 나타나는 것을 관찰하였으며, 상기 분류법은 이러한 Alexander 법칙에 기초한다.¹³⁾

안구운동 기록방법 (Recording Methods of Eye Movement)

안구운동의 기록은 전정기능검사의 기본적인 검사

로, 자발적 또는 말초전정기관이나 시각자극에 의한 안구 움직임의 분석에 필요하며, 이러한 안구움직임은 형태학적 특성, 강도, 잠복기, 속도, 정확도, 주파수 등의 척도를 이용하여 분석하게 되는데 이를 위해서는 시간변화에 따른 안구의 위치측정이 기본을 이룬다. 안구운동의 기록 방법들로는 검사자가 직접 눈으로 관찰하거나 Frenzel 안경, 전기안진기, 비디오안진기, Magnetic search coil 등을 이용하게 된다.¹⁴⁾

1. 검사자의 직접적인 관찰(Inspection of eye movement)

검사자가 관찰장비 없이 맨 눈으로 직접 관찰하거나 Frenzel 안경을 사용하여 관찰하게 된다. 맨 눈으로 관찰하는 방법은 안구의 움직임이 크거나 안진이 빠르고 진폭이 큰 경우에는 관찰 가능하나, 안진이 느리거나 진폭이 좁은 경우, 또 시고정이 되는 경우에는 안구운동을 정확히 관찰할 수 없다.

Frenzel 안경은 20디오퍼터의 고굴절 렌즈를 부착한 안경으로, 안구의 관찰을 위해 4 V의 dim lighting이 가능한 작은 전구가 양 외안각에 부착하고 있으며, 끈으로 환자 머리에 묶어 고정하여 사용하거나 검사자가 손으로 들고 사용할 수 있다. Frenzel 안경을 이용하는 방법은 암시야 하에서 시야고정을 배제하고, 조명을 통한 확대된 안구운동을 직접 관찰함으로써 회전운동을 포함한 충분히 넓은 수평-수직 안구운동을 관찰하면서 동시에 환자의 평형감각의 변화를 알아볼 수 있는 매우 유용한 검사법이다. 하지만 안구움직임을 기록 및 분석할 수 없고, 시고정 역제가 충분하지 않아 어느 정도의 시고정이 이루어진다는 점과 급성 어지럼증 환자의 검진 시 cold sweating이 심한 경우 안진을 정확히 관찰할 수 없다는 것, 장비가 가벼운 재질이고 이동성이 좋은 관계로 파손의 위험이 높다는 것, 얼굴의 형태나 연령에 따라 여러 크기와 형태의 고글이 필요하다는 점 등이 단점이다.^{15,16)}

2. 전기안구운동기[Electro-oculography (EOG)]

전기안구운동기(EOG)는 안구의 움직임에 따라 각막망막전위(cornea-retinal dipole electric potential)에 의해 변화되는 안구의 좌우 또는 상하에 부착된 전극의

전압차를 이용하여 안구의 움직임을 기록하는 방법이다. 전기안진기[Electronystagmography (ENG)]는 안구운동 중에서도 안진을 객관적으로 기록할 목적으로 사용되어지는 EOG 기계의 일종으로 광범위한 용어로 통용되고 있다.

1) 원리

각막망막전위는 망막 상피세포 사이의 tight junction에 의해 양-음이온의 barrier로써 작용하는 망막색소상피(retinal pigmented epithelium)의 대사활동에 의해 발생하는 전위로 양극의 각막과 음극의 망막간에 약 1 mV의 전위차를 유지한다(Fig. 6). 전극화된 안구가 안구 주위의 일정간격을 둔 표면전극을 통해 전압계로 유입되면 안구 1° 움직임에 따라 20 μV의 작은 전압 차이를 만들어 내게 되고, 이는 증폭을 거쳐 디지털 신호로 변환되어 컴퓨터 분석을 하게 된다. 이 때 전극에서 기록되는 전압은 안구움직임에 의한 전압뿐만 아니라 근육활동에 의한 전압과 같은 생체 전압이나 검사환경의 전자기장에 의한 전극 전선에 발생하는 전압 등도 기록되므로 여과기(filter)를 사용하여 이러한 불필요한 잡음(noise)을 제거하게 된다. 즉 안구의 움직임에 대한 아날로그 신호는 증폭, 여과기, 디지털화 과정을 거쳐 컴퓨터에서 디지털 신호로 처리하게 되며, 안구가 우측으로 이동 시 양의 값으로, 좌측으로 이동 시 음의 값으로 표현되어 시간에 따라 안구위치로 표현되는 EOG의 그래프상에서는 각각 상, 하에 한 점으로 재현된다(Fig. 7). 아울러 시간변화에 따른 안구의 위치에 대한 신호를 기본정보로 이용하여 안구움직임의 속도, 시각목표물에 대한 안구반응의 잠복기, 안구움직임의 정확도, 이득 등의 측정치를 구하게 된다. 따라서 모든 검사에서는 안구 위치에

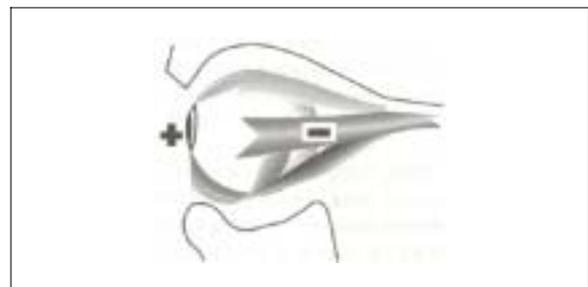


Fig. 6. Cornea-retinal dipole electric potential.

대한 정확한 보정(calibration)이 필요하며, 이는 일정한 각도의 목표점을 주시함으로써 안구위치에 따른 측정전압변화의 linearity를 유지하여 눈의 움직임에 따른 정확한 위치를 측정할 수 있다. 이러한 보정작업과 전기적 잡음을 최소화하여 전기안진기의 민감도를 0.5°까지 높일 수 있으나 전기안진기는 일반적으로 1°의 민감도를 갖는다.¹⁷⁾

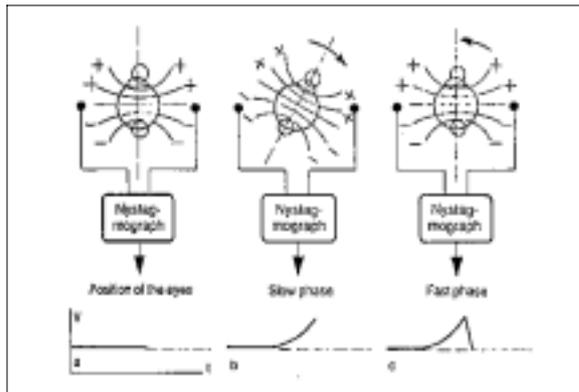


Fig. 7. 전기안진검사의 원리.

2) 안구운동기록기 준비 및 고려사항

전기안진기는 표면전극을 통해 유입되는 미세 전압 변화를 측정하는 도구이지만 결과물은 다시 전기적인 신호로 그래프를 만드는 것이므로 기계의 오작동에 의해 표면전극으로 미세 전류가 흘러 환자에게 치명적일 수 있다. 따라서 심박동기를 부착한 환자에게는 사용하지 않는 것이 안전하다. 부득이 사용해야 하는 경우라면 환자 모니터 시스템을 작동시켜 만일의 사태에 대응하여야 하며, 접지를 확인하고, 전기안진기의 오작동을 유도할지도 모를 출처불명의 부가적

인 장치를 임의로 장착해서는 안될 것이다.

또한 검사 전에 안구의 움직임과 시력, 시야와 같은 안구상태를 점검하여야 하며, 장시간의 검사를 수행할 수 있는지와 관련된 전신상태도 고려하여야 한다. 검사 시행 전 24-72시간 전에는 전정계에 영향을 미칠 수 있는 약제를 중단하고 음주는 72시간 전에 삼가야 한다.

검사 전 약 1~1.5시간 전에 음식을 하여 검사 중에 구토를 방지하며 혹시 혈관 수액주사제를 투여 중이라면 heparization을 먼저 시행하여 수액을 제거한 후에 검사를 시행한다. 만약 환자가 청력이 떨어져 각성 상태 유지를 위한 대화가 불가능하거나 공포심이 많은 환자, 노약자, 소아의 경우에는 보호자를 동석시킴을 권한다.

각막망막전위는 빛의 자극에 의해 변화하며 빛 자극의 변화후 전위가 안정되기까지 5~10분의 시간이 소요되므로 검사환경의 변화 후 이러한 안정시간을 고려하여 검사를 시작하여야 한다.

3) 안진기록기 검사

전극은 안구의 좌우 부위에 부착하여 수평성 안구 움직임을 기록하는 수평전극과 안구의 상하부위에 부착하여 수직성 안구 움직임을 기록하는 수직전극 및 미간상부의 이마에 부착하는 접지전극으로 구분된다. 두 눈의 움직임을 각각 기록하기 위해서는 수평과 수직전극을 각각의 눈주위로 부착하며, 이러한 경우 비동향(disconjugate) 안구움직임을 기록할 수 있다. 그러나 일반적으로 동향(conjugate) 안구움직임의 경우 양쪽 관자뼈(bitemporal) 전극으로 기록하게 된다(Fig. 8).

먼저 표면전극은 환자가 편안히 앉은 자세에서 primary gaze를 시킨 후 양안의 동공과 수평한 선에서

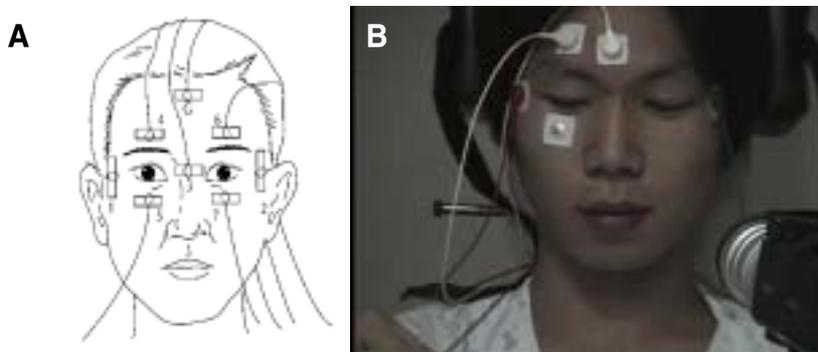


Fig. 8. 전기안진검사. 양안 운동을 각각 기록하기 위해서는 A와 같이 전극을 부착하나 일반적으로는 B의 방법으로 부착한다.

알코올과 paste 성분이 함유된 wipe로 피부 각질의 일부를 제거하여 피부저항을 최대한 낮추고, 표면전극의 conducting gel이 함유된 pallet의 부착을 견고히 한다. 다음에는 제일 먼저 impedance test를 통해 표면저항을 측정하여 5 K ohm 이하인가를 확인한다. 얼굴에 상처나 여성 환자의 경우, 화장에 의해 높은 저항치를 보이거나 표면전극이 검사 중 떨어지는 경우가 있으므로 주의해야 한다.

검사 시작 전에 calibration 작업을 해야 하는데, 이는 electrical noise나 drift가 있는 상태 하에서, 시야를 고정하여 안구위치를 영점 보정하는 것으로써, 안구 위치에 따른 voltage의 linearity를 유지하기 위한 작업이다. 통상 누운 자세에서 천정에 설치된 +자 bar를 이용해 5, 15, 25° 상하 좌우 한 점씩을 주시게 한다.

안구의 운동에 따라, 안구의 근육이나 주위 안면근들에 의해 발생하는 전기적인 신호 때문에 정확한 안구의 위치를 측정하는 것이 어려울 수도 있다. 뿐만 아니라 표면전극을 연결하는 고순도의 전선이 일종의 안테나 역할을 함으로써 검사실 주변, 특히 전기 컨센트에서 발생하는 60 Hz의 noise를 받아 들이게 된다. 수평 안구운동 측정에 비해 수직안구운동 측정에는 안검 운동에 의한 영향을 배제할 수 없으므로 눈 깜박이는 부위는 판독에서 제외시키는 것이 가장 좋은 방법이다.

일반적으로 권장되는 검사실 환경은 20°C 내외의 항온과 50% 내외의 항습 환경이며 아울러 10룩스 이하의 dim lighting과 30 dB 이하의 소음 환경을 유지하는 것이 좋으며 환자감시체계와 보호자가 검사를 지켜볼 수 있는 공간의 확보가 필요하다.

4) 전기안진기의 장단점

전기안진기는 안진을 객관적으로 기록할 수 있고, 정확도가 높고, 비침습적 방법이며, 시력에 영향을 받지 않으며, 정량적 평가가 가능하다는 장점이 있다. 반면 회전운동을 정확히 반영할 수 없다는 가장 큰 단점이 있으며, 그 외 폐안에 의한 간섭을 받으며, 땀에 의한 피부저항의 변화로 영향을 받을 수 있다는 단점이 있다.¹⁸⁾

3. 비디오안구운동기[Video-based oculo-graphy (VOG)]

비디오진기(Video-Nystagmography)는 영상으로 안진을 기록하는 장치로 비디오안구운동기와 혼용되어 사용된다. 비디오안진기는 적외선 비디오 카메라로 촬영한 안구의 영상을 분석하여(image analysis) 안구의 움직임을 측정하는 장비이다. 적외선 비디오카메라, 적외선 발광원, 고글, 컴퓨터 등으로 구성되어 있으며, 촬영한 안구영상을 아날로그/디지털 전환 영상 캡춰보드를 통해 컴퓨터로 입력하여 소프트웨어적인 영상분석을 통해 안구 움직임 정도를 계산하게 된다. 암시야가 필요한 경우에는 암시야 고글을 사용하며, 시각목표물을 주시하여야 하는 경우에는 hot mirror(가시광선은 투과하고 적외선은 반사하는 거울)가 부착된 고글을 이용하여 검사하게 된다.

수평 및 수직 안구움직임은 동공과 홍채간의 회색 조대비를 이용하여 동공의 변연부를 결정하고 동공의 중심점을 계산하여 중심점의 이동을 추적기록하여 측정하게 된다. 회전성 운동은 촬영한 영상의 각 화면(frame)간 홍채의 줄무늬(striation)의 변화를 영상분석하여 측정하게 되며 이를 위해서는 수평 및 수직 안구운동 추적의 경우보다 높은 해상도와 화면추출율(sampling rate)을 갖는 고가의 카메라가 필요하다.¹⁹⁾

비디오안진기는 전기안진기와는 달리 전극을 사용하지 않으므로 전기적 간섭 등에 의한 잡음의 영향이 없고, 측정민감도를 0.1°까지 높일 수 있으며, 회전성 운동을 측정할 수 있고, 안구움직임을 영상매체에 기록할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 동공이 반이상이 가려지거나 안질환 등으로 원형을 이루지 않는 경우, 눈을 감는 경우, 홍채의 줄무늬 등이 변형되어 영상분석이 불가능한 경우에는 사용할 수 없으며, 고글의 움직임에 의해 안구위치의 기록에 변화를 유발할 수 있고, 회전성 운동을 분석하기 위해서는 높은 해상도의 카메라와 영상신호의 화면추출율(sampling rate)을 높여야 하며, 카메라의 화면추출율의 한계로 안구의 단속운동의 분석은 불가능하거나 높은 화면추출율을 갖는 고가의 장비가 필요하다는 단점이 있다.²⁰⁾

4. Magnetic search coil system

1963년도에 Robinson 기술한 “A method of measuring eye movement...”에서 처음으로 소개된 search coil system은 현재 전정기능의 정량화 및 기초연구에 가

장 활발히 이용되는 안구운동 추적 방법이다.

외부의 AC자기장영역에서 각막에 부착한 search coil로 유도된, 해당 운동면에 해당하는 전압을 증폭하여 안구운동의 vector를 구하는 것이 기본 원리이다. 따라서 2내지 3쌍의 입방체로 배열된 자기장코일(field coil)과 각 자기장에 coupling을 이룰 수 있는 search coil, 그리고 자기장코일을 지탱해주는 matching box 및 preamplifier로 구성된다.

3차원 공간에서의 안구의 회전운동에 따른 search coil의 움직임은 각각 구적체 공간에 배열된 2개 내지 3개의 자기장을 필요로 하며, 유도된 전기적 신호는 frequency 및 phase에 맞춰 분석이 가능해진다. 따라서 유도전압의 크기는 3차원 공간에서의 안구의 위치를 대별하며 search coil의 특성(area bounded by the coil, number of turns)뿐만 아니라 자기장의 세기에 따라 영향을 받으므로 calibration이 매우 중요하다.

눈의 수평 및 수직방향의 움직임 뿐만 아니라 회전운동도 기록할 수 있다는 점과 측정 민감도가 0.02° 정도로 매우 높다는 장점이 있으나, 렌즈를 눈에 부착하기 때문에 20~30분 이상의 측정이 어려우며, 자기장하에서 머리가 고정된 상태에서 검사를 시행하여야 하므로 머리를 움직여야 하는 검사에서는 머리 움직임 정도를 측정하여 보정하여야 하는 제한점이 있으며, 장비가 고가인 단점이 있어 주로 동물실험에서 많이 사용되고 있다.^{14,15)}

REFERENCES

- 1) Lee TK, Sung KB. *Basics of eye movements and nystagmus. J Korean Balance Society* 2004;3:7-24.
- 2) Arenberg IK, Smith DB, editors. *Diagnostic neurotology. Neurologic clinic. vol 8-2. 1990.*
- 3) Fetter M, Haslwanter T, Misslisch H, Tweed D, editors. *Three-dimensional kinematics of eye, head and limb movements. Amsterdam: Harwood academic publishers; 1997.*
- 4) Sung KB, Lee TK. *Basics of eye movements. J Korean Neurol Assoc* 2004;22: sup 7-16.
- 5) Graf W, Simpson JJ. *Relations between the semicircular canals, the optic axis, and the extraocular muscles in lateral-eyed and frontal-eyed animals. In: Fuchs AL and Becker W. Progress in oculomotor research: 1st ed. Amsterdam: Elsevier; 1981. p.409-17.*
- 6) Bienfang DC. *Crossing axons in the third nerve nucleus. Invest Ophthalmol* 1975;14:927-31.
- 7) Sung KB. Nystagmus. In: Lee JK, Kim JJ, Park HM, editors. *Dizziness. 2nd ed. Dan-Guk Univ. Press; 2004. p.103-39.*
- 8) Bttner-Ennever JA. *Pathways from the pontine reticular formation to structure controlling horizontal and vertical eye movements in the monkey. In: Baker R, Berthoz A, editors. Control of gaze by brain stem neurons. Development in Neuroscience, 1977 Vol. 1; p.89-98.*
- 9) Gacek RR. *Location of brain stem neuros projecting to the oculomotor in the cat. Exp Neurol* 1977;57:725-49.
- 10) Leigh RJ, Zee DS. *The neurology of eye movements. 3rd ed. Philadelphia: F.A. Davis; 1999.*
- 11) Good WV, Jan JE, Hoyt CS, Billson PA, Schoettker PA. *Monocular visioin loss can cause bilateral nystagmus in young children. Dev Med Child Neurol* 1997;39:421-4.
- 12) Shapre JA, Jonston JL. *The vestibulo-ocular reflex: clinical, anatomic, and physiology correlates. In: Sharpe JA, Barber HO. editors, The vestibulo-ocular reflex and vertigo. New York, Raven Press; 1993. p.15-39.*
- 13) Alexander G. *Die Orenkrankheiten im Kindesalter. In: Pfaundler M, Schlossmann A, editors. Handbuch der Kinderheilkunde. Leipzig, Vogel; 1912. p.84-96.*
- 14) Lee SC. *Recording method of eye movement. J Korean Balance Society* 2003;2:50-52.
- 15) Han KC. *Recording methods of eye movement. In: Lee SC, Lee WS, editors. Vestibular function tests. Jungang Moonwha Co.; 2003. p.40-8.*
- 16) Baloh RW. *Dizziness, Hearing Loss, and Tinnitus. Philadelphia: FA Davis; 1998.*
- 17) Carl JR. *Principles and techniques of electro-oculography. In: Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM, editors. Handbook of balance function testing. Sandiego, Singular Publishing; 1997. p.69-82.*
- 18) Bhansali SA, Honrubia V. *Current status of electro-nystagmography testing.. Otolaryngol Heck Surg* 1999;120: 419-26.
- 19) DiScenna AO, Das V, Zivotofsky AZ, Seidman SH, Leigh RJ. *Evaluation of a video tracking device for measurement of horizontal and vertical eye rotations during locomotion. 1995;58:89-94.*
- 20) Yamanobe S, Taira S, Morizono T, Yagi T, Kamio T. *Eye movement analysis system using computerized image recognition. Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1990; 116:338-41.