

## 뇌간의 기능적 해부

울산대학교 의과대학 서울아산병원 재활의학교실

김 대 열

## Functional Neuroanatomy of Brain Stem

Dae Yul Kim, M.D., Ph.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Seoul Asan Medical Center, Univeristy of Ulsan College Medicine

The brain stem consists of medulla oblongta, pons and midbrain. It is sited in posterior cranial fossa. It contains numerous intrinsic neuron cell bodies and their processes, some of which are the brain stem homologues of spinal neuronal groups. These include the sites of termination and cells of origin of axons that enter or leave the brain stem through the cranial nerves. Cranial nerves provide sensory, motor and autonomic innervations of structures that are mostly in the head and neck. The reticular formation is an extensive network of neurons that extends throughout the length of brain stem and is continuous rostrally to diencephalon and caudally to its spinal counterpart. Clinically, damage to the brain stem is often devastating and life threatening. This is because it is a structurally and functionally compact region. Therefore, it is important to build basic knowledge about neuroanatomy of brain stem. (**Brain & NeuroRehabilitation 2014; 7: 93-100**)

**Key Words:** brain stem, medulla oblongta, mesencephalon, pons, reticular formation

### 서 론

뇌간은 뇌에서 가장 아래쪽에 위치하며, 척수(spinal cord)와 연결되어 있고, 척수와 동일한 방향을 그대로 유지하고 있다. 전면에서 보면 앞쪽으로 돌출된 고유교뇌(pons proper)가 관찰된다. 고유교뇌의 하부는 연수이며, 상부는 중뇌이다. 후면은 소뇌(cerebellum)에 의해 덮여 있으며 소뇌를 제거하면 뇌간의 중간에 제4뇌실(4th ventricle)의 바닥인 능형오목(rhomboid fossa)이 관찰된다. 대체적으로 능형오목의 좌우 꼭지점을 잇는 선을 기준으로 잡아 그 하부는 연수가 되고 그 상부는 교뇌와 중뇌가 된다. 중뇌에는 두 쌍의 반구형으로 돌출된 사구체(corpus quadrigemin)가 있어 그 밑의 교뇌와 구분되며 상부의 간뇌(diencephalon)와도 구분된다. 중뇌의 전면에는 좌우 한 쌍의 대뇌각기저부(crus cerebri)가 있으며, 그 위쪽의 간뇌와 연결되어 있다. 하지만, 이러한 구분은 인위적인 것이며, 실제로는 뇌간 전체가 세로로 연결된 하나의 구조로 그 단면구조에는 뚜렷한 연관성이 있다. 뇌간의 구성은 매

우 복잡하게 느껴지지만 구조적, 기능적으로 연관된 기본 구조가 전체적으로 동일한 양상을 하고 있다.

본 종설에서는 복잡한 뇌간의 구조들을 쉽게 이해하기 위해서 먼저 세로로 배열되어 있는 기본 구조들을 살펴보고, 다음 연수, 교뇌, 중뇌 각각의 단면구조를 기술하였고, 마지막으로 그물형성체에 대한 설명으로 마무리하였다.

### 뇌간의 기본 구조

뇌간은 기본적으로 척수가 연장된 구조로 척수와 같이 신경핵과 전도로가 주로 세로방향으로 배열되어 있고, 들어오거나 나가거나 반대편으로 교차하는 섬유는 가로방향으로 배열되어 있다. 그렇지만, 뇌간에서는 뇌신경이 나오며 뇌신경핵을 포함한 다른 많은 신경핵들과 신경로들이 나타난다(Fig. 1). 뇌간의 중간부분은 연수, 교뇌, 중뇌 어디에서나 비슷한 구조를 하고 있으며 세로로 연속되어 있는 구조로 피개(tegmentum)라고 한다. 피개는 그 부위에 따라 중뇌피개(mesencephalic tegmentum), 교뇌피개(pontine tegmentum), 연수피개(medullary tegmentum)로 나누어진다. 피개의 중심부분에는 뚜렷한 신경핵을 이루지 못하고 세포군과 섬유다발이 섞여 있는 그물형성체(reticular formation)가 위치하고 있다. 그물형성체는 피개

Correspondence to: Dae Yul Kim, Department of Rehabilitation Medicine, Seoul Asan Medical Center, Univeristy of Ulsan College Medicine, 88, Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea  
 Tel: 02-3010-3793, Fax: 02-3010-6964  
 E-mail: dykimsmart@gmail.com

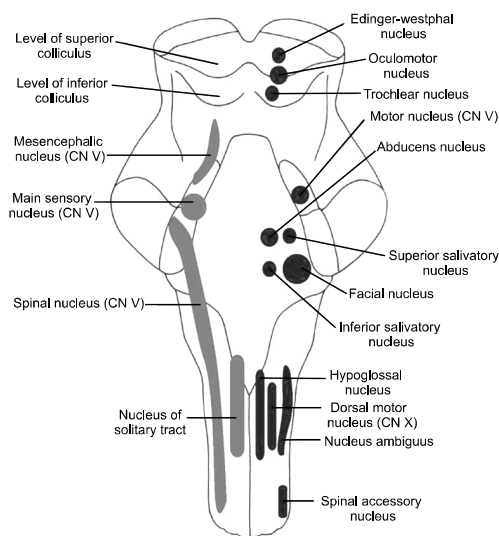


Fig. 1. Cranial nerve nuclei.

중에서도 계통발생학적으로 가장 오래된 부분이다. 뇌간의 뒷부분은 천장판(roof plate)이라고 하며, 연수의 상부와 교뇌에는 없고 연수의 하부와 중뇌에만 있는 불연속적인 구조이다. 천장판은 촉각, 청각, 시각 등 감각을 중계하는 핵과 신경다발이 자리잡고 있다. 앞부분은 기저부(basilar part)라고 한다. 교뇌에서는 배쪽으로 튀어나와 있는 고유교뇌를 말하며, 연수에서는 피라미드(pyramid), 중뇌에서는 대뇌각기저부(crus cerebri)가 여기에 속한다. 기저부는 대뇌피질에서 기원되는 하행섬유(descending fibers)와 그 중계핵으로 구성되어 있다. 대뇌피질의 하행섬유는 척수와 뇌간의 하위운동신경원(lower motor neuron)에 종지하는 피라미드로(pyramidal tract)와 대뇌피질과 소뇌피질을 이어주는 피질교뇌소뇌섬유(corticopontocerebellar fiber)로 구성되어 있다. 피질교뇌소뇌섬유는 교뇌핵(pontine nuclei)을 중계핵으로하여 대뇌피질에서 소뇌피질로 투사되는 신경로이다. 따라서 뇌간은 등쪽에서부터 배쪽으로 천장판(roof plate), 피개, 기저부(basilar part)의 세 부분으로 크게 나누어진다(Fig. 2).

## 연수(Medulla oblongata)

### 1) 외부구조

척수의 앞정중통새는 연수의 앞 표면으로 연결되는데, 앞정중통새의 양쪽을 연수피라미드(medullary pyramid)라고 한다. 피라미드는 하행 경로인 피질척수 섬유와 뇌간의 뇌신경핵으로 가는 피질연수 섬유를 가진다. 연수의 아래 부분에서 피질척수섬유는 부분적으로 반대쪽으로 교차하여 외측 피질척수로 형성한다. 이를 연수교차(pyra-

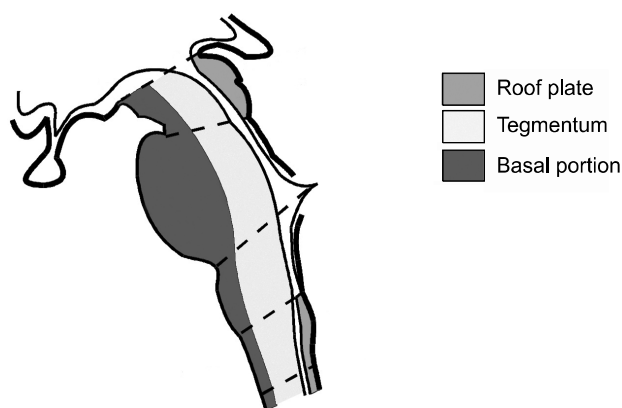


Fig. 2. Basic structure of brain stem.

midal decussation)라고 하며, 운동 기능은 반대편 대뇌에 의해 조절되는 것을 의미한다. 피라미드 외측에 앞외측 고랑을 경계로 하올리브(inferior olive)가 있다. 피라미드와 올리브 사이에서 설하신경이, 올리브 외측에서 부신경, 미주신경 및 설인신경의 가지들이 나온다. 연수의 후면은 후정중 고랑과 후외측 고랑이 척수와 연수를 연결한다. 중심관의 뒤쪽에 있는 천장판은 척수에서와 같이 후정중고랑과 후중간고랑 사이의 얇은다발(fasciculus gracilis)과 후중간고랑과 후외측고랑 사이의 썩기다발(fasciculus cuneatus)로 구성되어 있다. 얇은다발과 썩기다발은 후섬유단-내측섬유단신경로(posterior white column-medial lemniscal pathway)의 일차신경원의 축삭이며, 각각 얇은핵(nucleus gracilis)과 썩기핵(nucleus cuneatus)에 종지한다.

### 2) 내부구조

#### (1) 피라미드교차를 지나는 단면(Level of pyramidal decussation)

대체적인 내부구조는 척수와 비슷하나 중심관 주위의 회색질은 넓어져 중심회색질(central gray)을 형성하고, 척수 후각(posterior horn)은 삼차신경척수핵(spinal nucleus of trigeminal nerve)으로 서서히 바뀌며, 전각은 작아진다. 중간회색질이 있던 전각과 후각 사이 즉, 중심회색질의 외측에는 회색질이 없으며, 이 자리에 반대쪽으로 교차한 외측피질척수로(lateral corticospinal tract)가 척수에서보다는 내측으로 위치하고 있다. 전각의 바로 내측에는 내측세로다발(MLF)이 뚜렷하게 관찰되며, 바로 외측에서는 전정척수로(vestibulospinal tract)가 관찰된다. 척수에서 전섬유단이 있던 부분에는 반대쪽으로 교차하는 피라미드 교차의 섬유가 뚜렷하게 나타난다.

## (2) 섬유띠교차를 지나는 단면(Level of lemniscal decussation)

섬유띠교차를 지나는 수평단면에서 연수의 모양은 뒤쪽이 넓고 앞쪽은 좁은 난원형의 구조로 나타난다. 전외측고랑(anterior lateral sulcus)으로는 설하신경(hypoglossal nerve)의 소근이 나타나기도 한다. 전외측고랑의 뒤쪽은 바깥 표면에서 보았을 때 올리브의 아래쪽 부분으로 단면에서도 바깥쪽으로 약간 튀어나와 있다. 올리브의 심부에는 하올리브핵복합체(inferior olivary nuclear complex)가 있다. 올리브의 뒤쪽에는 안쪽으로 움푹 들어간 올리브후고랑(postolivary groove)이 뚜렷하게 나타난다. 올리브후고랑의 약간 뒤쪽에서는 부신경(accessory nerve)의 소근이 나타나기도 한다.

## (3) 피라미드로(Pyramidal tract)

피라미드는 두 가지 형태의 하행 피질섬유를 가지고 있다. 피질척수섬유와 피질뇌간 섬유이며, 특히 피질척수섬유에서 하지를 지배하는 영역은 상지보다 조금 더 외측에 위치해 있다. 연수에서 하행하면서 피질뇌간 섬유는 피라미드를 벗어나서 뇌신경핵으로 투사된다. 약 75~90%의 피질척수섬유는 반대편으로 교차하여 외측피질척수로 형성하며, 나머지는 교차 없이 전피질척수로 형성한다.

## (4) 후섬유단핵(dorsal column nuclei)

후섬유단에는 얇은핵(nucleus gracilis)과 췌기핵(nucleus cuneatus)이 존재하는데, 두 핵은 각각 얇은다발과 췌기다발의 앞쪽에서 나타나 위쪽으로 올라가면서 점차 커져 천장판의 대부분을 차지하게 된다. 얇은핵은 후중간고랑의 내측에 위치하며 내측전정핵이 시작되는 부분까지 뻗어 있다. 췌기핵은 얇은핵의 외측에 있으며 얇은핵이 시작하는 부위보다 약간 위쪽에서 시작되어, 중심관이 제4뇌실로 이행되는 부분까지 뻗어 있다. 후섬유단핵으로 들어오는 신경섬유는 부위와 강도를 정확하게 분별할 수 있는 촉각과 위치감각을 전달하는 일차구심섬유로 척수신경절 신경원의 축삭이다.

## (5) 삼차신경척수핵(spinal nucleus of trigeminal nerve)

삼차신경(trigeminal nerve)은 뇌간에 있는 뇌신경 중에서 가장 크며 얼굴과 구강, 비강의 일반체구심감각(general somatic afferent sensation)을 전달하는 신경이다. 이 신경의 일차신경원은 삼차신경절(trigeminal ganglion)에 있으며, 중추가지(central branch)가 교뇌로 들어온 다음 일부 섬유는 척수쪽으로 내려간다. 안면신경(facial nerve), 설인신경(glossopharyngeal nerve), 미주신경(vagus nerve)의 일반체구심섬유도 이 섬유다발을 따라 하행한다. 이 섬유다발을 삼차신경척수로(spinal tract of trigeminal nerve)라고 하며, 이 신경로의 섬유들은 그 앞쪽에 있는 핵의 신

경원과 시냅스한다. 삼차신경척수로의 앞에 있는 긴 핵을 삼차신경척수핵(spinal nucleus of trigeminal nerve)이라고 한다.

## (6) 하올리브핵복합체(inferior olivary nuclear complex)

하올리브핵복합체는 소뇌회로의 중요한 중계핵으로 연수의 외측에 나타나는 올리브(olive)의 심부에 있으며, 피라미드의 뒤쪽, 내측섬유띠의 외측에 있다. 이 핵복합체는 주하올리브핵(principal or main inferior olivary nucleus)과 내측부올리브핵(medial accessory olivary nucleus), 등쪽부올리브핵(dorsal accessory olivary nucleus)의 세 핵으로 구성되어 있다. 하올리브핵복합체의 원심섬유는 올리브소뇌로(olivocerebellar tract)를 이루며, 반대측 소뇌전엽의 피질에 등정섬유(climbing fiber)로 종지된다. 올리브소뇌로는 췌기소뇌로, 후척수소뇌로와 함께 하소뇌각(inferior cerebellar peduncle)을 형성하여 소뇌로 투사된다. 하올리브핵복합체는 소뇌와 연결된 거의 모든 부위에서 구심섬유를 받는다. 척수(spinal cord)에서는 척수올리브로(spino-olivary fiber)를 통해 연결되어 있으며, 대뇌피질(cerebral cortex), 중뇌의 적색핵(red nucleus)에서도 구심섬유가 기원된다. 이들을 각각 피질올리브로(cortico-olivary tract)와 적색올리브로(rubro-olivary tract)라고 한다. 전정핵복합체(vestibular nuclear complex)에서는 전정올리브로(solitary-olivary fiber)를 통해 하올리브핵으로 투사섬유를 보낸다.

## (7) 설하신경핵(hypoglossal nucleus)

혀의 근육을 지배하는 설하신경핵은 섬유띠교차를 지나는 수평단면에서는 중심회색질(central gray)의 앞쪽 내측에 위치해 있다. 설하신경핵 신경원의 축삭은 설하신경(hypoglossal nerve)을 형성한다. 설하신경은 앞쪽 약간 외측으로 내측섬유띠의 외측표면을 따라 주행하여 피라미드와 하올리브핵복합체 사이에 있는 전외측고랑(anterior lateral sulcus)을 통해 밖으로 나온다. 설하신경핵은 대뇌피질의 운동피질(motor cortex)에서 기원되는 피질뇌간로(corticobulbar tract)에서 구심섬유를 받으며, 이 신경로는 혀의 수의운동에 관여한다고 생각된다.

## (8) 의문핵(nucleus ambiguus)

의문핵은 섬유띠교차를 지나는 수평단면에서는 설하신경핵의 외측 앞쪽, 연수중심핵(central nucleus of medulla oblongata)의 외측 중간 부분에 위치해 있다. 이 핵을 구성하는 신경원은 인두(pharynx)와 후두(larynx)의 골격근을 지배하는 하위운동신경원이며, 전형적인 운동신경원의 형태로 관찰된다. 의문핵 신경원의 축삭은 부신경(accessory nerve), 미주신경(vagus nerve), 설인신경(glossopharyngeal nerve)을 형성하여 연구개, 인두, 후두의 골격근에

분포한다. 일부 의문핵 신경원은 미주신경등쪽핵의 신경원과 함께 심장 박동의 속도를 조절하는 역할도 한다고 생각된다.

#### (9) 미주신경등쪽핵(dorsal motor nucleus of vagus)

미주신경등쪽핵은 설하신경핵보다 약간 아래쪽에서 시작하여 약간 위쪽에서 끝난다. 아래쪽에서 이 핵은 설하신경핵의 뒤쪽, 중심관의 외측 뒤쪽, 고립로핵의 앞쪽에 위치해 있다. 이 핵을 구성하는 신경원의 축삭은 외측 앞쪽으로 나와 삼차신경척수핵을 지나 올리브(olive)와 하소뇌각(inferior cerebellar peduncle) 사이로 나오며, 홍강과 복강 장기에 분포하는 미주신경의 부교감신경절이전섬유를 형성한다. 미주신경등쪽핵은 미주신경이나 설하신경을 통해 들어오는 내장감각섬유를 고립로핵(nucleus solitaries)을 통해 이차적으로 받으며, 시상하부(hypothalamus)와 그물형성체에 있는 자율신경중추(autonomic center)와도 연결되어 있어 이들의 조절을 받는다.

#### (10) 고립로핵(nucleus solitaries)

고립로핵은 미주신경등쪽핵과 비슷한 위치에서 시작하여 안면신경운동핵(facial motor nucleus)의 아래쪽 끝부분까지 뻗어있다. 고립로핵은 내장구심성핵(visceral afferent nucleus)으로 구강, 비강, 인두, 식도, 위 등에서 들어오는 일반내장감각(general visceral afferent sensation)을 미주신경의 하신경절(inferior ganglion)과 설하신경의 하신경절에 있는 일차신경원을 통해 받아들이며, 혀와 후두덮개의 맛봉오리(taste bud)에서 감지하는 특수내장감각(special visceral afferent sensation)인 미각(taste)을 안면신경의 무릎신경절(geniculate ganglion)과 설하신경의 하신경절, 미주신경의 하신경절에 있는 일차신경원을 통해 받아들인다. 미각을 받아들이는 부분은 고립로핵의 상부에 위치하며 미각핵(gustatory nucleus)이라고도 한다. 일반내장감각 중에는 경동맥소체(carotid body)에서 혈액내 산소분압을 감지하는 화학수용기(chemoreceptor)와 경동맥동(carotid sinus)에 위치한 압력수용기(baroreceptor)에서 설하신경을 통해 들어오는 감각도 포함되어 있다.

### 뇌교(Pons)

#### 1) 외부구조

뇌교의 앞면은 뇌교용기(pontine protuberance)라고 불리는 용기를 형성한다. 용기의 가운데에는 뇌교고랑(pontine sulcus)이 있는데 뇌기저동맥이 지난다. 뇌교의 앞면을 통해서 뇌신경이 방출되는데, 외전신경은 뇌교와 연수 사이의 경계에서 나오게 되며, 소노교뇌각(cerebellopontine angle)에서 안면신경과 속귀신경이 나온다. 뇌교의 근위외

측면에서는 감각신경과 운동신경으로 이루어진 삼차신경이 방출되는데, 감각신경이 더 큰 부분을 형성한다. 뇌교의 뒷면은 4뇌실의 바닥의 근위부로 형성된다. 이 바닥의 부분을 얼굴신경둔덕(facial colliculus)라고 한다. 이 부분은 얼굴신경무릎과 외전신경핵의 표면 기준점이 된다.

#### 2) 내부구조

교뇌의 하부에서 기저부는 매우 크며 배쪽으로 돌출되어 있고, 피개는 기저부에 비해 작다. 외측은 중소뇌각의 섬유와 이어져 있다. 이 부분의 전형적인 형태를 관찰하기 위해서는 제4뇌실의 안면신경용기(facial colliculus)의 심부에 있는 외전신경핵을 지나는 수평단면(level of abducens nucleus)에서 관찰하는 것이 좋다. 이 부분에서 내측섬유띠는 피개의 가장 앞쪽, 기저부의 바로 뒤쪽에 위치하며, 연수에서와는 달리 가로 방향으로 위치해 있다. 양쪽 내측섬유띠 사이에는 청각전도로의 섬유다발인 능형섬유체(trapezoid body)가 나타난다. 피개의 외측 등쪽, 중소뇌각의 내측에는 하소뇌각이 있으며, 그 등쪽에는 상소뇌각(superior cerebellar peduncle)이 나타난다. 교뇌 상부의 전체적인 형태는 교뇌의 하부와 비슷하지만 뒤쪽의 제4뇌실은 하부에 비해 좁아져 있다. 이 부분으로는 뇌신경 중에서 가장 큰 삼차신경이 들어오며, 삼차신경주감각핵(main sensory nucleus of trigeminal nerve)과 삼차신경운동핵(trigeminal motor nucleus)이 나타난다. 삼차신경운동핵이 큰 운동신경원으로 구성되어 있어 매우 뚜렷하게 나타나므로 이 부분을 삼차신경운동핵을 지나는 수평단면(level of trigeminal motor nucleus)이라고 한다.

#### (1) 외전신경핵(abducens nucleus)

안구를 외측으로 움직이게 하는 골격근인 외직근(lateral rectus muscle)을 지배하는 외전신경핵(abducens nucleus)은 안면신경핵의 위쪽 끝부분에서 시작되어 삼차신경운동핵(trigeminal motor nucleus)이 시작되는 부분의 바로 위쪽에서 끝난다. 외전신경핵 신경원의 축삭은 외전신경(abducens nerve)을 형성한다. 외전신경은 외전신경핵의 내측에서 기원되어 앞쪽 약간 외측을 향해 나오며, 교뇌와 연수의 경계부 쪽으로 경사지게 내려와 교뇌와 연수 사이에 있는 하교뇌고랑(inferior pontine sulcus)의 내측, 전외측고랑(anterolateral sulcus)의 위쪽 끝부분에서 뇌간을 나온다.

외전신경핵이 손상되면 손상된 쪽을 주시할 수 없는 외측주시마비(lateral gaze paralysis)가 나타난다. 이는 외전신경이 손상되었을 때 나타나는 증상인 복시(diplopia)와는 달리 양쪽 눈 모두가 외측으로 돌아가지 않는 증상으로, 외전신경핵 주위에 있는 외측주시중추인 중심옆교뇌

그물형성체(paramedian pontine reticular formation, PPRF)가 함께 손상되기 때문에 나타나는 증상이라고 생각된다.

## (2) 삼차신경주감각핵(principal or main sensory nucleus of trigeminal nerve)

교뇌의 하부에서는 삼차신경척수핵이 없어지고 주감각핵이 나타난다. 삼차신경주감각핵은 아래쪽으로는 삼차신경척수핵의 입쪽부분과 이어지고, 위쪽으로는 삼차신경운동핵의 위쪽 끝에서 1 mm 아래에서 끝난다. 삼차신경(trigeminal nerve)의 섬유 중에서 촉각(touch sensation)을 전달하는 섬유는 이 핵에서 종지한다. 안신경(ophthalmic division)의 섬유가 가장 앞쪽에 종지하고 상악신경(maxillary division)이 중간, 하악신경(mandibular division)의 섬유는 가장 뒤쪽에 종지한다.

## (3) 삼차신경운동핵(trigeminal motor nucleus)

삼차신경운동핵(trigeminal motor nucleus)은 안면신경핵의 위쪽 끝부분보다 2 mm 정도 위에서 시작되어 청색반점핵(nucleus of locus ceruleus)이 시작되는 부분까지 뻗어 있다. 삼차신경운동핵 신경원의 축삭은 삼차신경(trigeminal nerve)의 운동근을 형성하여 감각근의 뒤쪽 위쪽에서 뇌간의 바깥쪽으로 나온다. 운동근은 삼차신경절(trigeminal ganglion)의 아래쪽을 지나 감각성분과 함께 하악신경(mandibular nerve)을 형성하여 타원공(foramen ovale)을 통해 두개강 바깥으로 나온다.

## (4) 삼차신경중뇌핵(mesencephalic tract nucleus of trigeminal nerve)

삼차신경감각핵 중에서 가장 윗부분에 있는 삼차신경중뇌핵은 삼차신경이 들어오는 곳에서부터 상구(superior colliculus)의 위쪽 끝부분에 까지 뻗어 있다. 이 세포의 말초돌기는 저작근의 신경근방추에 분포하여 고유감각을 전달하며, 일부는 치아와 치아주위인대(periodontal ligament), 경구개(hard palate) 등에 분포하여 압력을 감지하는 역할을 한다. 이 핵 신경원의 중추돌기는 삼차신경운동핵의 신경원과 직접 연결되어 있어 반사적으로 씹을 때의 힘을 조절해주는 역할을 한다고 알려져 있다.

## (5) 청각전도핵(nuclei of auditory pathway)

교뇌의 하부에서는 청각전도로와 관련된 핵인 상올리브핵복합체(superior olivary nuclear complex)가 관찰된다. 상올리브핵복합체는 내측과 외측의 두 상올리브핵과 능형섬유체핵으로 구성되어 있다. 교뇌의 상부에서는 상올리브핵복합체가 없어지며 배쪽외측섬유피핵(ventral nucleus of lateral lemniscus)이 관찰된다. 더 위쪽에서는 등쪽외측섬유피핵(dorsal nucleus of lateral lemniscus)이 나타난다.

## (6) 전정신경핵

전정신경핵복합체는 내측, 외측, 하부, 상부 신경핵으로 이루어져 있다. 내측 신경핵이 가장 크며, 연수에서 뇌교까지 뻗어 있다. 4뇌실의 바닥의 전정부위에 놓여 있고, 수조(stria medullares)에 의해 뒤쪽에서 교차한다. 하부신경핵은 내측신경핵의 외측에 있으며, 하부 연수까지 뻗어 있고, 내측신경핵과 하부소뇌다리 사이에 있다. 구심성 전정섬유의 하행가지들이 세포들 사이에 끝난다. 외측신경핵은 내측신경핵의 상부에 앞외측에 놓여 있고, 위쪽 끝은 상부신경핵으로 연결된다. 상부신경핵은 다른 핵들에 비해 뇌교 상부에 위치한다. 모든 전정신경핵은 속귀신경, 척수 및 그물형성체로부터 섬유를 받는다. 신경핵으로부터 전정소뇌 섬유는 하부소뇌다리를 통해 소뇌의 변엽 및 후엽으로 보낸다. 일부 구심성 섬유는 핵을 지나지 않고, 바로 하부소뇌다리를 통해 소뇌로 간다. 요약하자면, 전정신경핵 복합체는 구심성 소뇌 경로의 길목이라고 할 수 있고, 전정소뇌 섬유가 분포되는 핵이다. 전정신경핵으로부터의 섬유는 내측세로다발(medial longitudinal fasciculus)을 통해서 안구운동을 담당하는 근육으로 분포한다. 외측전정신경핵으로부터 척수의 전방섬유단으로 하행하는 전정척수로를 형성한다. 또한 전정신경핵으로부터의 정보는 시상을 지나서 대뇌피질로 가게 되는데, 일차 전정피질은 두정엽내부와 중심뒤이랑 사이에 위치하는데, 이 감각피질이 의식적인 몸의 위치를 인식하는 것과 관련이 있다고 할 수 있다. 이러한 연결을 통해 전정조직은 안구, 두부 및 체간 및 상하지 근육의 움직임에 영향을 주며, 평형을 유지하는 기능을 한다.

## 중뇌(Midbrain)

### 1) 외부구조

중뇌의 하부표면은 대뇌다리(cerebral peduncle)라고 불리는 두개의 큰 섬유다발이 있는데, 아래쪽으로 피질원심 섬유들이 지난다. 아래쪽으로 대뇌다리는 뇌교기저부(basis pontis)와 연결되고, 위쪽으로 속섬유막(internal capsule)과 연결된다. 대뇌다리 사이는 대뇌다리사이오목이 있는데, 삼차신경(oculomotor nerve)이 방출된다. 도르래신경은 중뇌의 뒷면에서 나와서 주위를 돌아 대뇌다리 외측면에 나타난다. 시신경로는 대뇌다리가 대뇌반구로 사라지기 전에 그 아래를 지난다. 중뇌의 뒤쪽표면은 네개의 돌출부(corpora quadrigemina)가 있는데, 위쪽 두개는 상구(superior colliculi)이며, 아래쪽 작은 두개는 하구(inferior colliculi)라고 하며, 도르래신경은 하구 아래에서 방출된다.

## 2) 내부구조

중뇌는 교뇌와 개방연수와는 달리 뒤쪽에 있던 제4뇌실이 없어지고 중뇌수도관(cerebral aqueduct)이 나타난다. 따라서 중뇌수도관의 뒤쪽에서는 천장판(roof plate)이 관찰된다. 이 부분은 사구체(corpora quadrigemina)가 있는 부분으로 덮개(tectum)라고도 한다. 덮개의 앞쪽은 대뇌각(cerebral peduncle)이라고 하며, 피개(tectum)와 기저부(basilar part)로 구성되어 있다. 중뇌의 기저부는 대뇌각기저부(crus cerebri)라고 한다. 기저부와 피개의 사이에는 흑색질(substantia nigra)이 있다. 중뇌의 하부를 지나는 수평단면에서 덮개에는 청각전도로의 중계핵인 하구(inferior colliculus)가 있으므로 이 단면을 하구를 지나는 수평단면(level of inferior colliculus)이라고 한다. 중뇌의 상부(upper midbrain)를 지나는 수평단면에서 천장판에는 시각과 관련된 핵인 상구(superior colliculus)가 있으므로 이 단면을 상구를 지나는 수평단면(level of superior colliculus)이라고 한다.

### (1) 하구(inferior colliculus)

중뇌 덮개의 하부에는 등쪽으로 돌출된 한 쌍의 하구가 있다. 하구는 상연수천장이 끝나는 부분에서 상구가 시작하는 부분까지 뻗어 있으며, 중심핵(central nucleus), 중심주위핵(pericentral nucleus), 외핵(external nucleus)의 세 핵으로 나누어 진다. 크게는 중심핵과 하구주위부(pericollicular region)로 나누기도 한다. 이 핵은 청각전도로의 중계핵이다.

### (2) 상구(superior colliculus)

상구는 중뇌 덮개의 상부에 등쪽으로 돌출된 한 쌍의 핵으로 하구에 비해 완만하게 돌출되어 있다. 상구는 동안신경핵의 아래쪽 끝부분에서 후교련(posterior commissure)이 있는 위치까지 뻗어 있다. 상구는 망막, 대뇌피질, 뇌간, 척수 등 여러 구조에서, 시각, 청각, 체감각 등 여러 종류의 구심섬유를 받는다. 상구에서 나오는 원심섬유는 하행섬유와 상행섬유로 나눌 수 있으며, 하행섬유는 주로 심층에서 기원되어 척수, 교뇌핵, 그물형성체, 하올리브핵 복합체로 이어지고, 상행섬유는 주로 표층에서 기원되어 시상과 덮개앞부분으로 연결된다.

### (3) 도르래신경핵(trochlear nucleus)

도르래신경핵은 중뇌 하부 하구를 지나는 수평단면에서 나타나며, 내측세로다발 섬유 내에 위치해 있다. 도르래신경핵 신경원의 축삭은 도르래신경(trochlear nerve)을 형성한다. 도르래신경은 다른 뇌신경들과는 달리 도르래신경핵을 나온 후 중뇌수도관을 돌아 교뇌와 중뇌의 이행부에서 반대편으로 교차하여 뇌간 밖으로 나온다. 이 뇌신

경은 등쪽으로 나오는 유일한 뇌신경이며, 반대쪽으로 교차하는 유일한 뇌신경이다. 도르래신경은 상사근(superior oblique muscle)을 지배하여 안구를 내측으로 회전시키고 아래쪽 외측으로 움직이는 역할을 하므로, 도르래신경핵이 손상되면 아래쪽 외측을 볼 때 복시(diplopia)가 나타난다.

### (4) 동안신경핵복합체(oculomotor nuclear complex)

동안신경핵복합체는 일반체원심성분의 주핵(principal oculomotor nucleus)과 일반내장원심성분의 에딩거-베스트팔핵(Edinger-Westphal nucleus)으로 구성되어 있다. 이 핵복합체는 중뇌 상부 상구를 지나는 수평단면에서 중뇌수도관주위회색질의 앞쪽에 위치해 있으며, 도르래신경핵의 위쪽 끝부분에서 중뇌의 위쪽 끝부분까지 뻗어 있다. 외측핵기둥은 배쪽 아래쪽에서 등쪽 위쪽 방향으로 다시 배쪽, 중간, 등쪽, 내측핵군의 네 세포군으로 나누어진다. 배쪽핵군은 내직근(medial rectus muscle)을 지배하고, 중간핵군은 하사근(inferior oblique muscle)을 지배하며, 등쪽핵군은 하직근(inferior rectus muscle)을 지배한다. 중간핵군과 등쪽핵군의 내측에 있는 내측핵군의 세포는 상직근(superior rectus muscle)을 지배한다. 배쪽, 중간, 등쪽핵군에서 나오는 신경섬유는 모두 동측의 외안근에 분포하지만 내측핵군의 섬유는 반대쪽 상직근을 지배한다 꼬리쪽 중심부위에 있는 꼬리쪽중심핵(caudal central nucleus)의 신경원은 상안검거근(levator palpebrae superioris muscle)을 지배한다. 에딩거-베스트팔핵(Edinger-Westphal nucleus)은 동안신경핵복합체의 위쪽 등쪽에 위치하며, 적색핵(red nucleus)의 아래쪽 끝부분에서 카할간질핵(interstitial nucleus of Cajal)의 아래쪽 끝부분까지 뻗어 있다. 에딩거-베스트팔핵 신경세포의 축삭은 부교감신경절이전 섬유(preganglionic parasympathetic fiber)로 섬모체신경절(ciliary ganglion)까지 이어지며, 섬모체신경절의 신경절 이후섬유는 섬모체(ciliary body)와 동공수축근(sphincter pupillae)의 평활근섬유에 분포한다. 이 핵은 빛의 밝기에 따라 동공(pupil)의 크기를 조절하는 대광반사(light reflex)나, 수정체의 두께를 변화시켜 가까운 물체에 초점을 맞추게 하는 원근조절반사(accommodation reflex)에 중요한 역할을 한다.

### (5) 적색핵(red nucleus)

적색핵은 중뇌 피개에 위치한 구형의 핵으로 동안신경핵의 아래쪽 끝부분에서 유두체(mammillary body)의 위쪽 끝부분까지 뻗어 있다. 적색핵은 주로 소뇌와 대뇌피질에서 구심섬유를 받는다. 소뇌심부핵(deep cerebellar nuclei)에서 기원된 소뇌적색섬유(cerebellorubral fiber)는 상소뇌각을 통해 소뇌 바깥쪽으로 나오며, 중뇌 하부 피개의

앞쪽에서 반대편으로 완전히 교차하여 적색핵에 종지한다. 대뇌피질에서 기원되는 피질적색섬유(cortico-rubral fiber)는 소뇌적색섬유에 비해 그 수가 훨씬 적으며, 생리학적으로도 소뇌에서 오는 구심성 입력이 대뇌피질에서 오는 것 보다 훨씬 강력하다고 알려져 있다. 적색핵은 뇌간과 척수의 여러 핵으로 하행섬유를 보낸다. 이 중에서 가장 뚜렷한 것은 동측성인 적색올리브로(rubro-olivary tract)와 척수로 이어지는 적색척수로(rubrospinal tract)이다. 적색척수로로는 여러가지 면에서 피질척수로와 비슷하다. 적색척수로로는 피질척수로와 함께 척수 외측섬유단에 위치한다. 또한 사지 원위부의 근육을 지배하는 하위운동신경원에 분포하며, 굴근(flexor)을 흥분시키고 신근(extensor)을 억제하는 역할을 하는 점도 피질척수로와 같다. 이 두 신경로는 모두 사지 원위부의 정확하고 숙련된 운동에 관여한다고 생각된다.

#### (6) 흑색질(substantia nigra)

흑색질은 교뇌중심회색질의 위쪽 끝부분에서 시상밑핵(subthalamic nucleus)이 나타나는 위치까지 거의 중뇌 전체에 걸쳐 있는 핵으로, 대뇌각기저부(crus cerebri)와 중뇌피개 사이에 위치해 있다. 흑색질은 피개쪽에 위치한 치밀부(pars compacta)와 대뇌각기저부쪽에 위치한 그물부(pars reticulata)의 두 부분으로 나뉘어진다. 치밀부에는 멜라닌색소(melanin pigment)가 세포질 내에 있는 큰 신경원들이 밀집되어 있으며, 이 세포들은 신경전달물질로 도파민을 함유하고 있다.

### 그물형성체(Reticular Formation)

뇌간의 피개(tegmentum)에는 회색질과 백색질, 어느 쪽에도 속하지 않는 부분이 있다. 이 부분은 섬유다발이 신경세포들을 마치 그물처럼 감싸고 있는 형태로 나타나기 때문에 그물형성체(reticular formation)라고 한다. 그물형성체는 뚜렷한 핵을 이루지 않는 신경세포체들과, 이 사이를 주행하는 신경섬유의 다발로 구성되어 있고, 대체적으로 뇌간 피개의 중앙부에 위치해 있다. 계통발생학적으로 뇌에서 가장 오래된 부분이라고 할 수 있으며, 생명의 유지에 직접적으로 관계되는 원시적인 기능을 담당한다고 알려져 있다. 그물형성체는 수면과 각성, 의식 등 대뇌피질 기능의 조절이나, 호흡 및 심장혈관기능과 관계된 내장 기능의 조절, 감각전달의 조절, 골격근 운동기능의 조절 등 여러 가지 중요한 기능에 관여한다.

#### 1) 상행그물활성계(Ascending Reticular Activating System, ARAS)

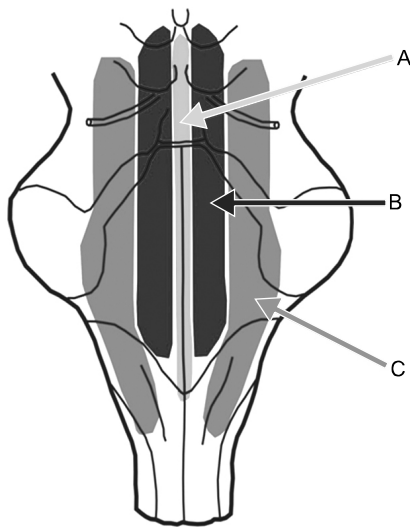
그물형성체의 활성화는 각성상태(arousal, waking state, alertness)와 밀접한 연관이 있다. 일반적인 수면상태의 경우, 뇌전도(electroencephalogram, EEG)에서는 진폭이 큰 수면파가 낮은 빈도로 나타나는 동조현상(synchronization)이 나타나며, 각성상태 또는 REM 수면에서는 비동조현상(desynchronization)이 나타난다. 상행그물활성계에 의해 자극에 대한 정상적인 반응을 할 수 있는 각성상태가 유지되고 의식이 있게 된다. 또한 이 계통에 속하는 세 구조인 그물형성체, 시상 수질판내핵군, 대뇌피질과 이들의 연결 부분이 손상되면 의식의 장애가 일어날 수 있다.

#### 2) 호흡 및 심장혈관기능의 조절

그물형성체의 일부분은 호흡과 심장혈관 등 내장기능을 조절하는 활성이 있다. 호흡의 중추는 연수에 위치하며 등쪽과 배쪽의 두 호흡중추로 나누어진다. 등쪽호흡중추(dorsal respiratory center)는 고립로핵(nucleus solitarius)의 배쪽 외측에 있는 그물형성체에 위치하며, 주로 흡기의 조절에 관여한다. 배쪽호흡중추(ventral respiratory center)는 대체적으로 의문후핵(retroambiguus nucleus)과 주위의 그물형성체에 해당되며, 이 부분을 표층배쪽외측그물구역(superficial ventrolateral reticular area, ARSVL)이라고도 한다. 배쪽호흡중추는 흡기와 호기에 모두 관여한다. 표층배쪽외측그물구역에 속하는 일부 신경원들은 심장혈관중추(cardiovascular center)로도 작용한다. 이 구역은 의문핵이 있는 부분이며, 부교감신경절이전신경원으로 작용하여 심장 박동의 빈도를 조절한다. 표층배쪽외측그물부는 혈압수용기(baroreceptor)와 화학수용기(chemoreceptor)의 중추인 고립로핵(solitary nucleus)에서 구심섬유를 받아 일종의 심장혈관반사에 관여한다. 이 핵에서 나오는 이차섬유는 시상하부로 연결되어 있다.

#### 3) 감각전달의 조절(Regulation of Sensory Transmission)

그물형성체는 감각의 전달과 이의 조절에도 중요한 역할을 한다. 통각은 신척수시상로를 따라서도 전달되지만, 구척수시상로 즉 척수그물로(spinoreticular tract)를 통해서도 대뇌피질로 전달된다. 이 통각은 신척수시상로를 통해 전달되는 통각에 비해 비분별성이며, 시상의 수질판내핵군(intralaminar nuclei), 특히 중심외측핵(central lateral nucleus)을 거쳐 대뇌피질의 광범위한 영역으로 투사된다. 그물형성체의 신경원은 통각의 전달을 조절하는 기능을 한다. 세로토닌을 신경전달물질로 함유한 솔기핵(raphe



**Fig. 3.** Subdivision of reticular formation. (A) Raphe nuclei and paramedian group. (B) Medial group. (C) Lateral group.

nuclei), 특히 거대솔기핵(nucleus raphe magnus)의 신경원은 척수의 후각과 삼차신경척수핵(spinal trigeminal nucleus)으로 원심섬유를 보내며, 이들은 통각의 전달을 억제한다.

#### 4) 운동기능의 조절(Regulation of Motor Activity)

그물형성체에서 나오는 두 종류의 하행신경로는 운동의 조절에 작용한다. 이들 모두 그물형성체의 중심핵군(central group)에서 기원된다. 교뇌그물척수로(pontine reticulospinal tract)는 입쪽 및 꼬리쪽 교뇌그물핵(oral and caudal pontine reticular nucleus)에서 기원되며, 주로 신근(extensor) 반사를 촉진시키고 근긴장도를 향진시키는 역할을 한다. 연수의 거대세포그물핵(gigantocellular reticular nucleus)에서 기원되는 연수그물척수로(medullary reticulospinal tract)는 교뇌그물척수로와는 달리 신근 반사를 저하시키며 근긴장도를 떨어뜨리는 역할을 한다.

전체적으로 그물척수로는 감마운동신경원(r-motor neuron)에 영향을 주며, 감마운동고리(r-motor loop)를 통한 반사적 근긴장도의 조절에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다.

#### 5) 그물형성체 세포군의 분류(Classification of Reticular Formation)

그물형성체는 원시적인 구조로 알려져 있지만 세포체와 돌기는 질서있게 배열되어 있으며, 부분에 따라 구조와 연결, 기능에 차이가 있다. 따라서 여러개의 세포군(cell group)으로 나눌 수 있으며, 뚜렷하지는 않지만 크게 솔기핵(raphe nuclei), 정중결핵군(paramedian group), 외측핵군, 내측핵군의 4개의 핵군(nuclear group)으로 구별할 수 있다(Fig. 3).

### 참고 문헌

- 1) Hendelman WJ. Atlas of Functional Neuroanatomy. In: *Brainstem Histology*. 2nd ed. Taylor & Francis; 2006:172-197
- 2) Blumenfeld H. Neuroanatomy through Clinical Cases. In: *Brainstem I: Surface Anatomy and Cranial Nerves*. 2nd ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.; 2010
- 3) Afifi AK, Bergman RA. Functional Neuroanatomy. In: *Medulla Oblongata*: Large Medical Books/McGraw-Hill; 2005:78-97
- 4) Afifi AK, Bergman RA. Functional Neuroanatomy. In: *Pons*: Large Medical Books/McGraw-Hill; 2005:103-122
- 5) Afifi AK, Bergman RA. Functional Neuroanatomy. In: *Midbrain*: Large Medical Books/McGraw-Hill; 2005:129-149
- 6) Mancall EL, Brock DG. Gray's Clinical Neuroanatomy, The Anatomic Basis for Clinical Neuroscience. In: *Brain Stem*: Elsevier Saunders; 2010:157-184