



# Normal Anatomy of Cranial Nerves III–XII on Magnetic Resonance Imaging

## 뇌신경 III–XII의 정상 자기공명영상 소견

Hyung-Jin Kim, MD\* , Minjung Seong, MD , Yikyung Kim, MD

Department of Radiology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Because of the inherent complex anatomy and functional arrangement of the cranial nerves (CNs), neuroimaging of cranial neuropathy is challenging. With recent advances in magnetic resonance imaging (MRI) techniques, the cause of cranial neuropathy can now be detected in many cases. As an active multidisciplinary team member of cranial neuropathy, it is essential for the neuroradiologist to be familiar with the detailed anatomy of the CNs on MRI. This review contains the basic MRI anatomy of CNs III–XII according to a segmental classification from the brain stem to the extracranial region. The optimal imaging options to best evaluate the specific segment of the CNs will also be discussed briefly.

**Index terms** Cranial Nerves; Anatomy; Magnetic Resonance Imaging

## 서론

Table 1에 요약한 바와 같이 인체에 분포한 12개의 뇌신경(cranial nerve; 이하 CN)은 뇌와 두경부 사이에서 특수한 감각과 운동기능을 전달하는 뇌/신경 조직이다(1, 2). 다른 뇌질환과 마찬가지로 이학적 검사에서 의심된 뇌신경 이상의 존재 유무와 병변의 위치 및 원인 질환을 규명하기 위하여 다양한 영상검사법이 이용되고 있으나, 복잡한 해부학적 구조와 기능 때문에 뇌신경 질환의 영상검사는 항상 어려운 과제이다. 이 중 가장 흔히 이용되는 것이 전산화단층촬영술(이하 CT)과 자기공명영상술(magnetic resonance imaging; 이하 MRI)인데, 이 두 가지 검사법은 각각의 장단점을 가지고 있으나 일반적으로 CT로는 뇌신경에 발생한 커다란 종양이나 뇌신경이 위치한 두개저공(skull base foramen)들의 확장 및 파괴에 따른 이차적 변화를 관찰할 수 있는 반면, MRI에서는 최근 기술적 발달을 기반으로 두개 내 정상 뇌신경뿐 아니라 두개 밖에 위치한 뇌신경도 관찰할 수 있어 현재로는 MRI가 뇌신경 질환에 있어 가장 유용한 영상검사법으로 평가받고 있다(3, 4). 12개의 뇌신경 중 후각신경

Received April 6, 2020  
Accepted May 2, 2020

**\*Corresponding author**

Hyung-Jin Kim, MD  
Department of Radiology,  
Samsung Medical Center,  
Sungkyunkwan University  
School of Medicine, 81 Irwon-ro,  
Gangnam-gu, Seoul 06351, Korea.

Tel 82-2-3410-6451  
Fax 82-2-3410-2559  
E-mail hyungkim@skku.edu

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ORCID iDs**

Hyung-Jin Kim   
<https://orcid.org/0000-0003-3576-3625>  
Minjung Seong   
<https://orcid.org/0000-0002-9257-4225>  
Yikyung Kim   
<https://orcid.org/0000-0002-9395-4879>

Table 1. CNs and their Functional Components\*

CN	Functional Component	Function
I, olfactory	SVA	Smell
II, optic	SSA	Vision
III, oculomotor	(G)SE	Superior, inferior, and medial recti, inferior oblique, levator palpebrae superioris
	GVE	Sphincter pupillae, ciliary muscle
IV, trochlear	(G)SE	Superior oblique
V, trigeminal	GSA	Skin and deep tissues of head, dura mater
	SVE	Muscles of mastication, tensor tympani and tensor veli palatine, mylohyoid, anterior belly of digastric muscle
VI, abducent	(G)SE	Lateral rectus
VII, facial	GSA	Outer ear
	SVA	Taste (palate & anterior <sup>2</sup> / <sub>3</sub> of tongue)
	GVA	Some mucous membranes of nasopharynx
	GVE	Lacrimation and salivation (submandibular and sublingual)
	SVE	Muscles of facial expression, stapedius
VIII, vestibulocochlear	SSA	Hearing and equilibrium
IX, glossopharyngeal	GSA	Outer ear
	SVA	Taste (posterior <sup>1</sup> / <sub>3</sub> of tongue)
	GVA	Carotid body and sinus, mucous membranes of pharynx and middle ear
	GVE	Salivation (parotid gland)
	SVE	Stylopharyngeus
X, vagus	GSA	Outer ear
	SVA	Taste (epiglottis)
	GVA	Thoracic and abdominal viscera, mucous membrane of larynx and hypopharynx
	GVE	Thoracic and abdominal viscera
	SVE	Muscles of larynx and pharynx, palatoglossus
XI, accessory	SVE	Sternocleidomastoid and trapezius
XII, hypoglossal	(G)SE	Intrinsic and extrinsic tongue muscles except palatoglossus

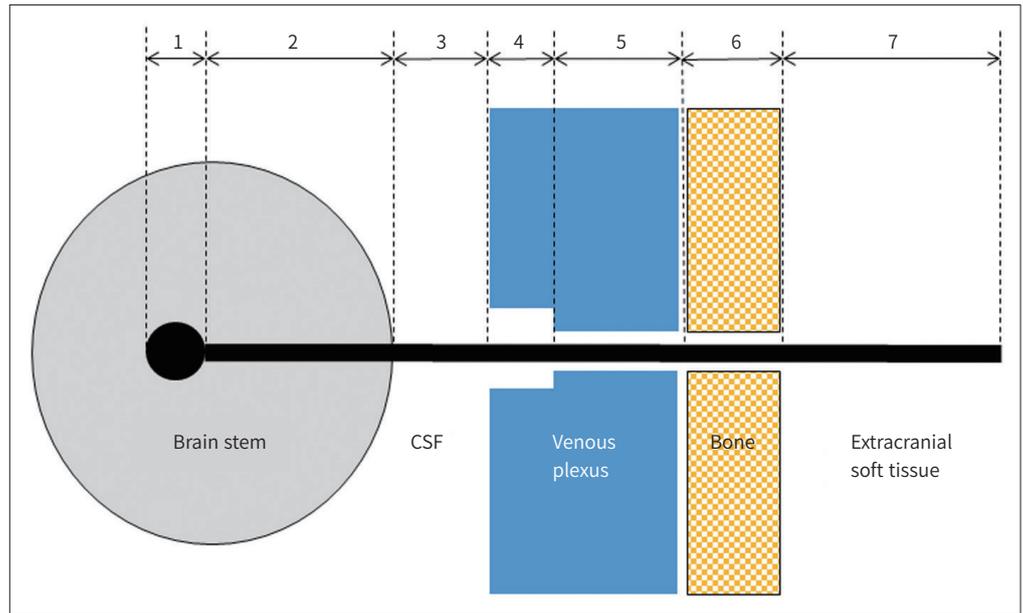
\*Adapted from Kelly. Neuroimaging Clin N Am 1993;3:1-45 (2).

CN = cranial nerve, GSA = general somatic afferent, (G)SE = (general) somatic efferent, GVA = general visceral afferent, GVE = general visceral efferent, SSA = special somatic afferent, SVA = special visceral afferent, SVE = special visceral efferent

(olfactory nerve, CN I)과 시신경(optic nerve, CN II)을 제외한 동안신경(oculomotor nerve, CN III)-설하신경(hypoglossal nerve, CN XII) 등 10개의 말초성 뇌신경은 뇌간(brain stem)에 위치한 핵(nucleus)으로부터 각각의 뇌신경이 지배하는 두개 밖 구조물에 이르기까지 비슷한 해부학적 구조물로 구성된 여러 구역(segment)을 통과하는데, 뇌신경의 구역별 해부학적 상이점을 이해하는 것은 각 구역에 호발하는 병변의 감별진단에 매우 큰 도움이 된다(3, 4).

이 종설에서는 동안신경으로부터 설하신경에 이르는 10개의 말초성 뇌신경의 구역별 정상 MRI 소견과 각 구역에 적절한 MRI 기법에 관하여 뇌간 밖의 경로를 중심으로 알아보려고 한다.

Fig. 1. A schematic drawing of the subdivisions of the cranial nerves according to the anatomic segments.



1 = nuclear segment, 2 = fascicular segment, 3 = cisternal segment, 4 = dural cave segment, 5 = interdural segment, 6 = foraminal segment, 7 = extraforaminal segment, CSF = cerebrospinal fluid

### 뇌신경의 구역별 해부학

12개의 뇌신경 중 종뇌(telencephalon)와 간뇌(diencephalon)의 연장인 후각신경과 시신경을 제외하면 엄밀한 의미의 말초성 뇌신경은 동안신경으로부터 설하신경까지의 10개의 신경이다(1-6). 이 10개의 뇌신경은 뇌간에 핵을 가지고 있으며, 하나 또는 여러 개의 감각핵(sensory nucleus) 및 운동핵(motor nucleus)으로부터 전달받은 신경다발(fascicle)이 뇌신경을 이루어 뇌간을 지나 두개 밖으로 주행하는데, 각각의 뇌신경은 주행 경로는 다르나 주행 중 해부학적 공통점을 가지는 여러 구역을 공유하고 있어 해부학적 특징에 따라 구역별 분류가 가능하다(Fig. 1) (3, 4). 이러한 해부학적 구조물의 차이를 바탕으로 특화된 MRI 기법을 사용하면 각 구역에 호발하는 뇌신경 질환의 진단적 효율을 높일 수 있다(Table 2).

### 핵구역(Nuclear Segment)

뇌신경핵은 정보를 교환하는 중계국이자 통합본부 역할을 하는 신경세포체의 군집으로 뇌신경핵은 뇌간으로부터 나가는 원심신경섬유(efferent nerve fiber)의 기원인 운동핵과 뇌간으로 들어오는 구심신경섬유(afferent nerve fiber)로 구성된 감각핵으로 나누어진다(1-6). 10개의 말초성 뇌신경의 핵은 모두 중간뇌(midbrain), 교뇌(pons), 연수(medulla oblongata) 등 뇌간에 위치하는데 (Figs. 2, 3), 부신경(accessory nerve, CN XI)은 하부연수에 위치한 의핵(nucleus ambiguus)과 더불어 제1경추-제5경추에도 척수핵(spinal nucleus)을 가지며, 각각의 핵으로부터 두개부신경(bulbar part of accessory nerve, CN XI<sub>B</sub>)과 척수부신경(spinal part of accessory nerve, CN XI<sub>S</sub>)

Table 2. Useful MRI Pulse Sequences according to the Cranial Nerve Segments

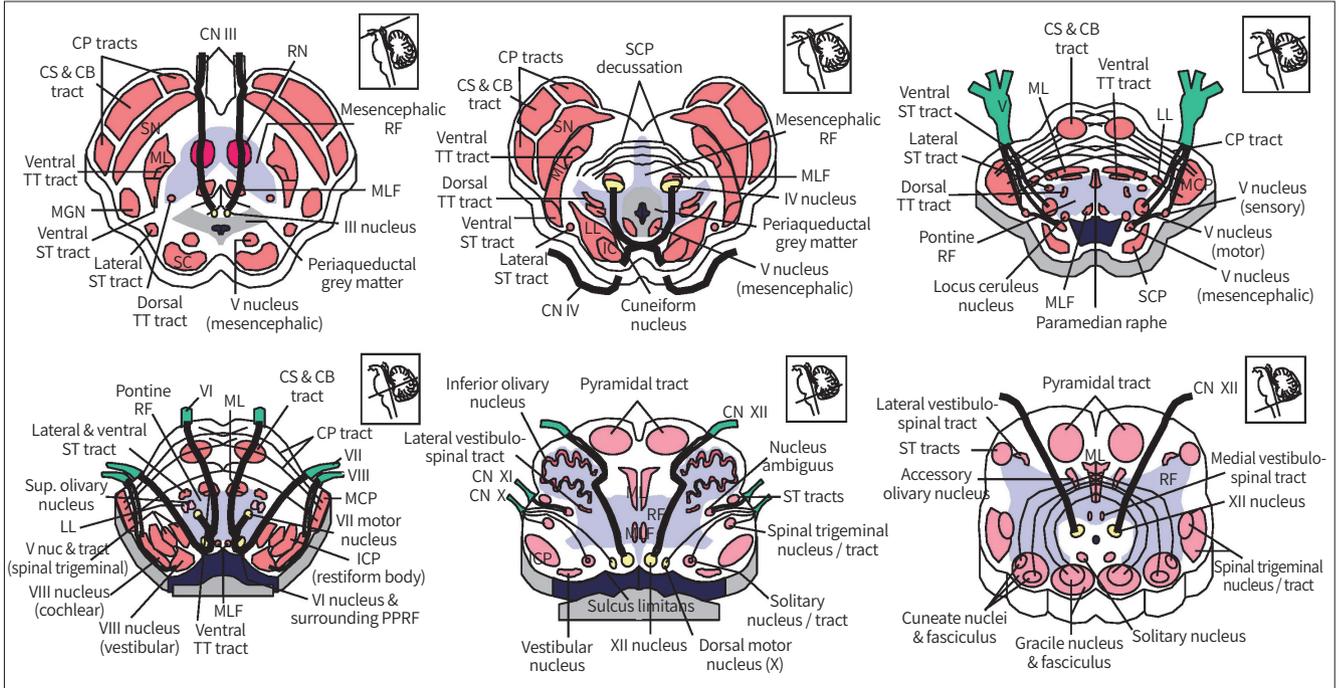
Cranial Nerve Segment	Pulse Sequence	Examples
Nuclear/Fascicular	2D/3D heavily T2*-weighted spoiled gradient echo	m-FFE
	Diffusion tensor imaging	MEDIC MERGE
Cisternal/Dural Cave	3D heavily T2-weighted fast spin echo	DRIVE
	3D heavily T2-weighted fast gradient echo	FRFSE
		T2 VISTA
		T2 SPACE
		T2 CUBE
		bFFE
		CISS FIESTA
Interdural/Foraminal	3D contrast-enhanced T1-weighted fast gradient echo	bTFE
	3D contrast-enhanced balanced SSFP	MPRAGE
		FSPGR
		THRIVE
		VIBE
		bFFE
		CISS
		FIESTA
Extraforaminal	T1-weighted spin echo	bFFE
	3D balanced SSFP with/without contrast enhancement	CISS
	3D reversed FISP	FIESTA
		PSIF-DWI
		DESS-WE

2D = two-dimensional, 3D = three-dimensional, bFFE = balanced fast field echo, bTFE = balanced turbo field echo, CISS = constructive interference in steady state, DESS-WE = double-echo steady-state with water excitation, DRIVE = driven equilibrium radiofrequency reset pulse, FIESTA = fast imaging employing steady state acquisition, FISP = fast imaging with steady-state free precession, FRFSE = fast recovery fast spin-echo, FSPGR = fast spoiled gradient echo, MEDIC = multiple echo data image combination, MERGE = multiple echo recombined gradient echo, m-FFE = Multi-echo fast field echo, MPRAGE = magnetization-prepared rapid gradient echo, PSIF-DWI = reversed FISP with diffusion weighted imaging, 3D = three-dimensional, SPACE = sampling perfection with application-optimized contrasts by using different flip angle evolutions, SSFP = steady-state free precession, THRIVE = T1-weighted high resolution isotropic volume examination, VIBE = volumetric interpolated breath-hold examination, VISTA = volumetric isotropic turbo spin echo acquisition

이 기원한다. 일반적으로 감각핵이 운동핵에 비하여 뇌간의 후외측에 위치하고 내장기능(visceral function)을 가지는 핵일수록 뇌간의 경계고랑(sulcus limitans)에 가까이 위치한다(Fig. 3) (1).

주위의 뇌조직에 비하여 빠르게 수초화(myelination) 되어 종종 MRI T2 강조영상(T2-weighted image; 이하 T2WI)에서 뇌신경핵을 관찰할 수 있는 태아 및 신생아와는 달리 성인에서 MRI로 뇌신경핵 자체를 관찰하는 것은 어렵다. 그러나, heavily T2\*-weighted spoiled gradient echo 기법인 multi-echo fast field echo (m-FFE), multiple echo data image combination (MEDIC), multiple echo recombined gradient echo (MERGE) 등 수초화된 뇌구조물의 관찰이 용이한 MRI 기법을 사용하면 간접적으로 뇌신경핵의 위치를 파악할 수 있다(3). 또한 외전신경(abducent nerve, CN VI)처럼 안면신경구(facial colliculus)와 같은 특징적 모양의 해부학적 구조물을 관찰함으로써 영상에서 핵의 위치를 파악할 수 있는 뇌신경도 있다. 이와 같이 직접적인 관찰이

Fig. 2. The cranial nerve nuclei and fascicles in the brain stem at the level of the rostral midbrain (top left), caudal midbrain (top middle), rostral pons (top right), caudal pons (bottom left), rostral medulla (bottom middle), and caudal medulla (bottom right).



CB = corticobulbar, CP = corticopontine, CS = corticospinal, IC = inferior colliculus, ICP = inferior cerebellar peduncle, LL = lateral lemniscus, MGN = medial geniculate nucleus, ML = medial lemniscus, MLF = medial longitudinal fasciculus, MCP = middle cerebellar peduncle, PPRF = paramedian pontine reticular formation, RF = reticular formation, RN = red nucleus, SC = superior colliculus, SCP = superior cerebellar peduncle, SN = substantia nigra, ST = spinothalamic, TT = trigeminothalamic

어려운 뇌신경핵의 위치를 MRI로 추적하려면 뇌신경 경로에 대한 해부학적 지식이 필수적이다.

### 신경다발구역(Fascicular Segment)

뇌신경다발은 뇌신경핵과 수조(cerebral cistern) 사이의 뇌간에 위치한 신경관(nerve tract)을 일컫는다(Fig. 2). 활차신경(trochlear nerve, CN IV)을 제외한 모든 뇌신경은 동측에 위치한 뇌간 핵으로부터 신경다발이 앞으로 나와 수조로 진입하는 반면, 활차신경은 뇌간의 반대쪽에 위치한 핵으로부터 신경다발이 뒤쪽으로 나와 하구(inferior colliculus) 직하부의 상수범(superior medullary velum)에서 교차(decussation) 한 후, 중간뇌의 후면에서 중간뇌주위수조(ambient cistern)로 진입한다(3-5). 안면신경(facial nerve, CN VII)은 운동을 담당하는 운동신경과 감각과 부교감계 기능을 담당하는 중간신경(nervus intermedius)으로 구성된다. 운동신경핵에서 기원한 안면신경의 신경다발은 뒤쪽으로 향해 갈고리 모양으로 외전신경핵을 돌아 삼차신경척수핵(spinal trigeminal nucleus)의 내측으로 주행하는데 제4뇌실(fourth ventricle)의 바닥 부위에서 외전신경핵과 함께 특징적 모양의 안면신경구를 형성한다.

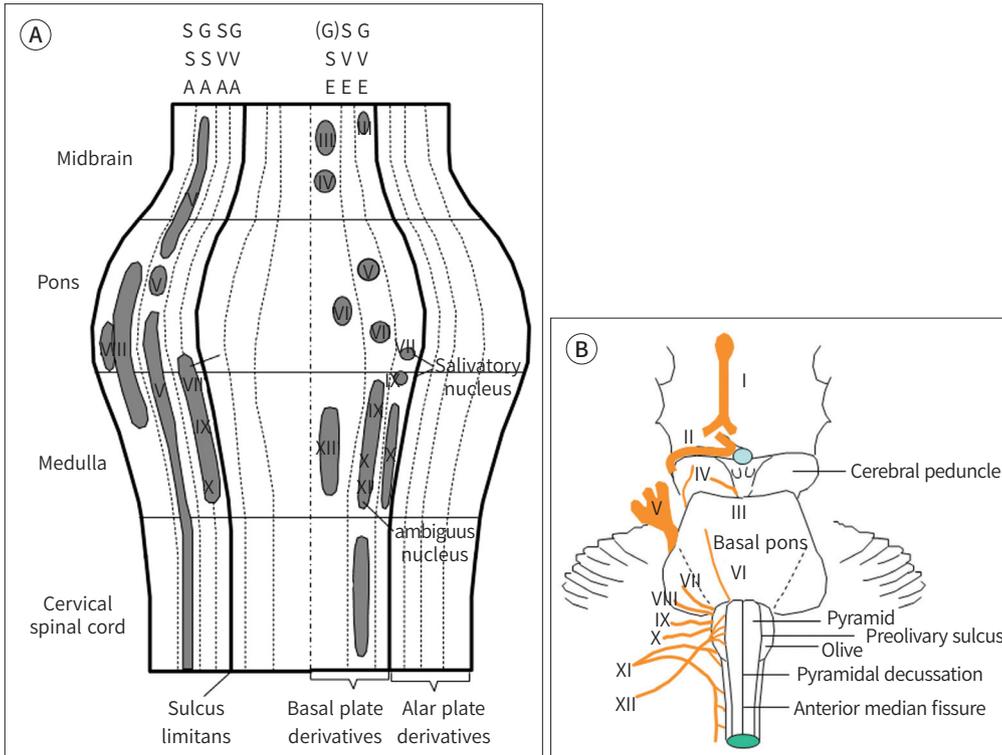
다른 뇌신경과 달리 안면신경의 신경다발은 교뇌에서 나와 수조로 진입하기 전에 매우 특이한 진행경로를 취한다. 즉, 교뇌 밖으로 진행한 안면신경의 신경다발은 바로 수조로 진입하는 대신 교뇌의 하측 표면과 밀착하여 밀착부(attached segment; 이하 AS)라고 불리는 긴 실질외(extra-

Fig. 3. The cranial nerves in the brain stem.

A. The longitudinal arrangement of the cranial nerve nuclei in the brain stem according to their functional types.

B. Surface anatomy of the cranial nerve attachments to the brain stem.

GSA = general somatic afferent, (G)SE = (general) somatic efferent, GVA = general visceral afferent, GVE = general visceral efferent, SSA = special somatic afferent, SVA = special visceral afferent, SVE = special visceral efferent



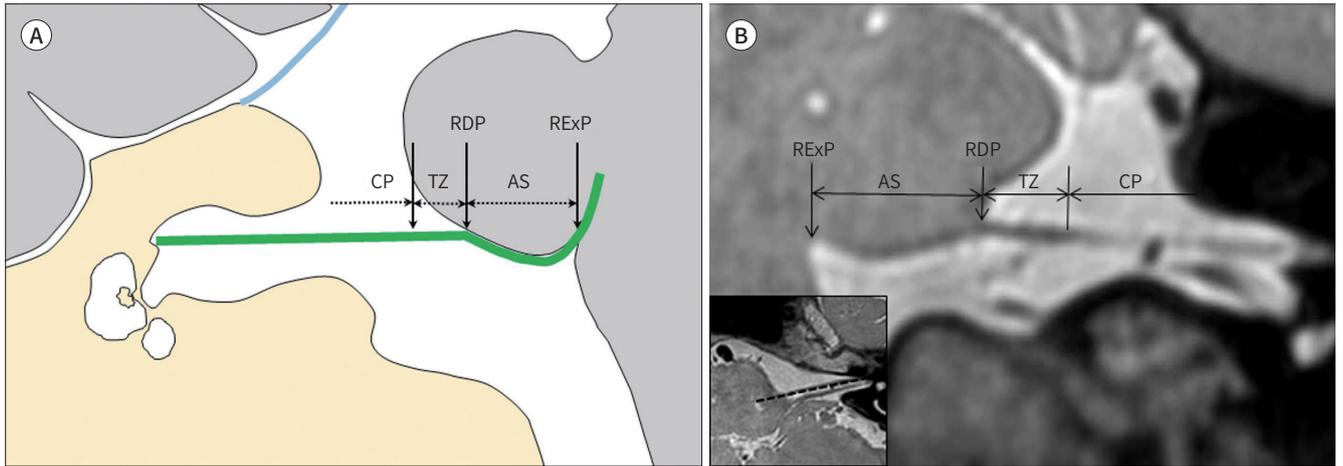
parenchymal) 경로를 주행하다가 수조로 진입한다. AS는 이행부(transition zone; 이하 TZ)와 더불어 안면신경의 신경근출구부(root exit zone)를 구성하는 매우 중요한 요소로, 특히 이 부위는 자극에 취약한 핏피교세포(oligodendrocyte)에서 유래한 중심성 수초화(central myelination)를 가지는 신경다발로 구성되어 있어 혈관에 의한 안면신경 압박으로 초래되는 편측안면경련(hemifacial spasm)의 주요 부위로 알려져 있다(Fig. 4) (7-9).

뇌신경핵과 마찬가지로 MRI로 신경다발 자체를 관찰하는 것은 어렵지만 수초화된 뇌구조물의 관찰이 용이한 heavily T2\*-weighted spoiled gradient echo 기법 등을 사용하여 간접적으로 신경다발의 위치를 추측할 수 있다(Fig. 5). 뇌신경다발에 병변이 생기면 T2 강조영상이나 액체감약 반전회복(fluid attenuated inversion recovery; FLAIR) 영상에서 이상 소견을 관찰할 수 있으며, 종종 조영증강 후 영상이 도움이 된다(Fig. 6). 편측안면경련 환자의 경우 안면신경의 신경근출구, 특히 AS의 신경혈관압박은 다음 수조구역(cisternal segment)에서 설명할 자기공명수조조영술(magnetic resonance cisternography; 이하 MRC)과 같은 삼차원(three-dimensional; 이하 3D) 기법의 heavily T2WI를 이용하여 수조구역의 안면신경과 평행하게 경사관상면(oblique coronal plane)으로 재구성된 영상에서 가장 잘 관찰된다(Fig. 4). 시신경, 동안신경, 삼차신경(trigeminal

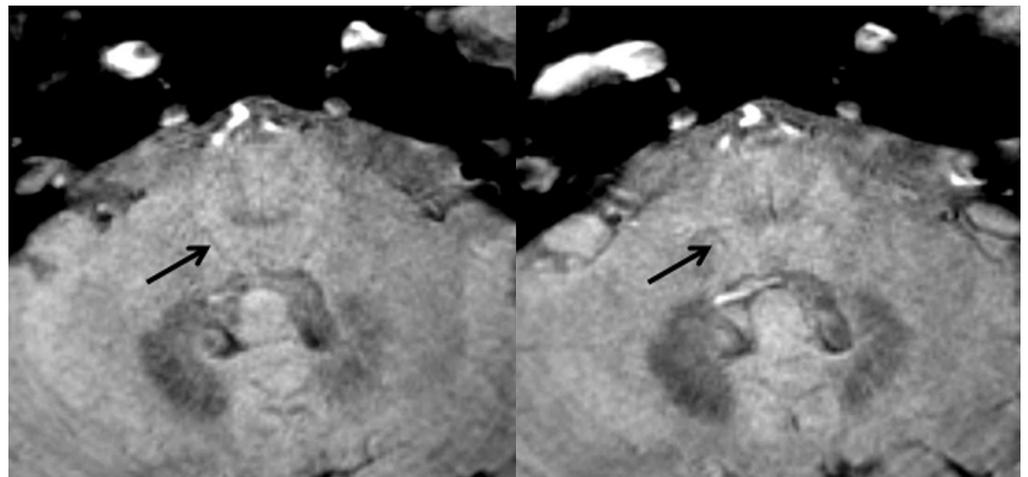
**Fig. 4.** Anatomy of the root exit zone of the CN VII.

**A, B.** A schematic drawing (A) and corresponding oblique coronal MRC (B) demonstrate the subdivisions of the root exit zone of the CN VII. The AS is a relatively long segment that tightly adheres to the ventral surface of the pons before the nerve emerges into the prepontine cistern at the RDP. The TZ is a short segment where the central myelin transitions into the peripheral myelin. Image reformation is obtained in the oblique coronal plane with the plane parallel to the CN VII on axial MRC, as shown in the inset in B.

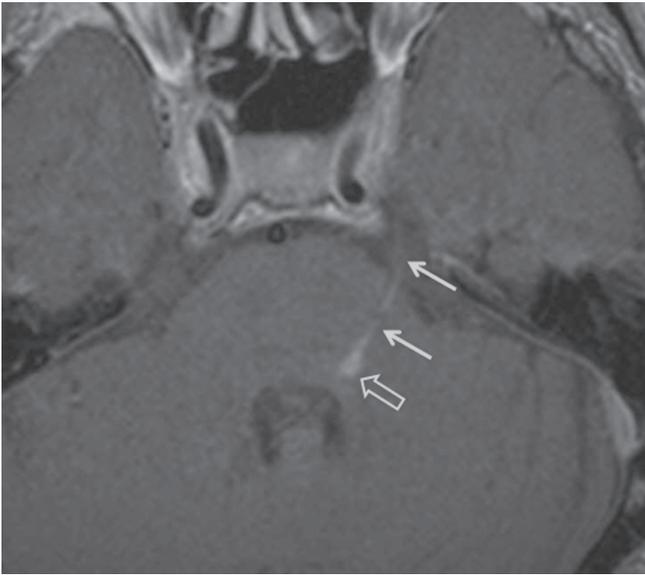
AS = attached segment, CP = cisternal portion, MRC = magnetic resonance cisternography, RDP = root detachment point, RExp = root exit point, TZ = transition zone



**Fig. 5.** Contiguous three-dimensional axial multiple-echo data image combination images at the level of the facial colliculus demonstrate a linear hypointense structure (arrows) in the pontine tegmentum along the presumed course of the CN VI. The left image is higher than the right one.



nerve, CN V) 등 신경다발이 큰 뇌신경의 경우, 신경조직에서 나타나는 물 분자의 확산비등방성 (diffusion anisotropy)을 토대로 개발된 확산텐서영상(diffusion tensor imaging; 이하 DTI) 기법을 이용하여 뇌조직 내의 신경다발을 관찰할 수 있다(10-12). 그러나, 대부분의 뇌신경은 신경다발의 크기가 작아 DTI에서도 정확한 위치 판정이 어렵다(4). DTI로 얻은 신경다발의 방향성을 이용하여 색지도(color map)나 벡터지도(vector map) 등을 만들 수 있으며, 또한 확산텐서의 연결성을 바탕으로 뇌신경 경로를 따라 신경섬유추적도(tractography)를 만들 수 있다(13).



**Fig. 6.** A 60-year-old woman with symptomatic trigeminal neuralgia. The axial contrast-enhanced T1-weighted image shows abnormal enhancement along the fascicular and cisternal segments of the left CN V (arrows). The end point of the enhancement is the presumed site of the spinal trigeminal nucleus and tract (open arrow).

### 수조구역(Cisternal Segment)

수조구역은 뇌간을 떠난 뇌신경이 뇌척수액(cerebrospinal fluid) 공간인 수조로부터 경막(dura)까지 주행하는 부분을 일컫는다. 전술한 안면신경과 마찬가지로 모든 뇌신경은 뇌간과 가까운 수조구역에 다양한 길이의 신경근출(입)구부(root exit/entry zone; 이하 REZ)를 가지는데, 이 REZ에는 펄프교세포에서 유래한 중심성 수초화로 형성된 근위부신경이 슈반세포(Schwann cell)에서 유래한 말초성 수초화(peripheral myelination)로 형성된 원위부신경으로 이행되는 TZ가 존재한다(Fig. 4) (13, 14). 전통적으로 TZ는 삼차신경통(trigeminal neuralgia), 편측안면경련, 설인두신경통(glossopharyngeal neuralgia) 등 신경혈관압박증후군(neurovascular compression syndrome)에서 혈관에 의하여 뇌신경이 압박되는 중요한 부위로 알려져 있다(14-16). 수조구역의 뇌신경은 종종 하나가 아닌 여러 갈래 신경근의 형태를 보인다(3, 4).

동안신경의 수조구역은 대뇌각(cerebral peduncle)의 내연에서 뇌간을 벗어나 각간조(interpeduncular cistern)로 진입한 신경이 해면정맥동(cavernous sinus)의 후면에 이르는 부분을 이룬다(Fig. 7A). 수조에서 동안신경은 후대뇌동맥(posterior cerebral artery)과 상소뇌동맥(superior cerebellar artery) 사이에 위치하며, 더 앞쪽으로 진행하여 후교통동맥(posterior communicating artery)의 하방에 위치하게 된다(Fig. 7B) (2, 3). 후교통동맥의 동맥류는 흔히 동공마비를 동반한 동안신경마비(pupil-involving oculomotor nerve paralysis)를 야기하는데, 그 이유는 Edinger-Westphal 핵으로부터 유래된 동안신경의 부교감신경이 동안신경의 배내측(dorsomedial) 가장자리에 위치하여 있어 주로 뒤쪽, 아래쪽, 바깥쪽으로 향하는 후교통동맥의 동맥류에 의하여 쉽게 압박되기 때문이다(Fig. 7C) (2).

전술한 바와 같이 활차신경은 뇌간의 반대쪽 핵으로부터 뒤쪽으로 돌아 나온 신경다발이 뇌간을 떠나 외측으로 중간뇌주위수조를 거쳐 천막자유변(free edge of tentorium)에 도달한 후 대뇌각을 돌아 앞쪽으로 진행하여 해면정맥동의 후면까지 주행하는 관계로 뇌신경 중 수조구역의 길이가 가장 길며, 두께 또한 가장 얇다(Fig. 7D) (5, 17). 이 부위에서 활차신경은 동안신경과 마찬가지로

**Fig. 7.** The cranial nerves in the cisternal segment on magnetic resonance cisternography.

**A.** The CN III extends anterolaterally, coursing medial to the uncus in the interpeduncular cistern (arrows).

**B.** In the interpeduncular cistern, the CN III (open arrow) passes between the PCA (black arrow) above and superior cerebellar artery (white arrow) below.

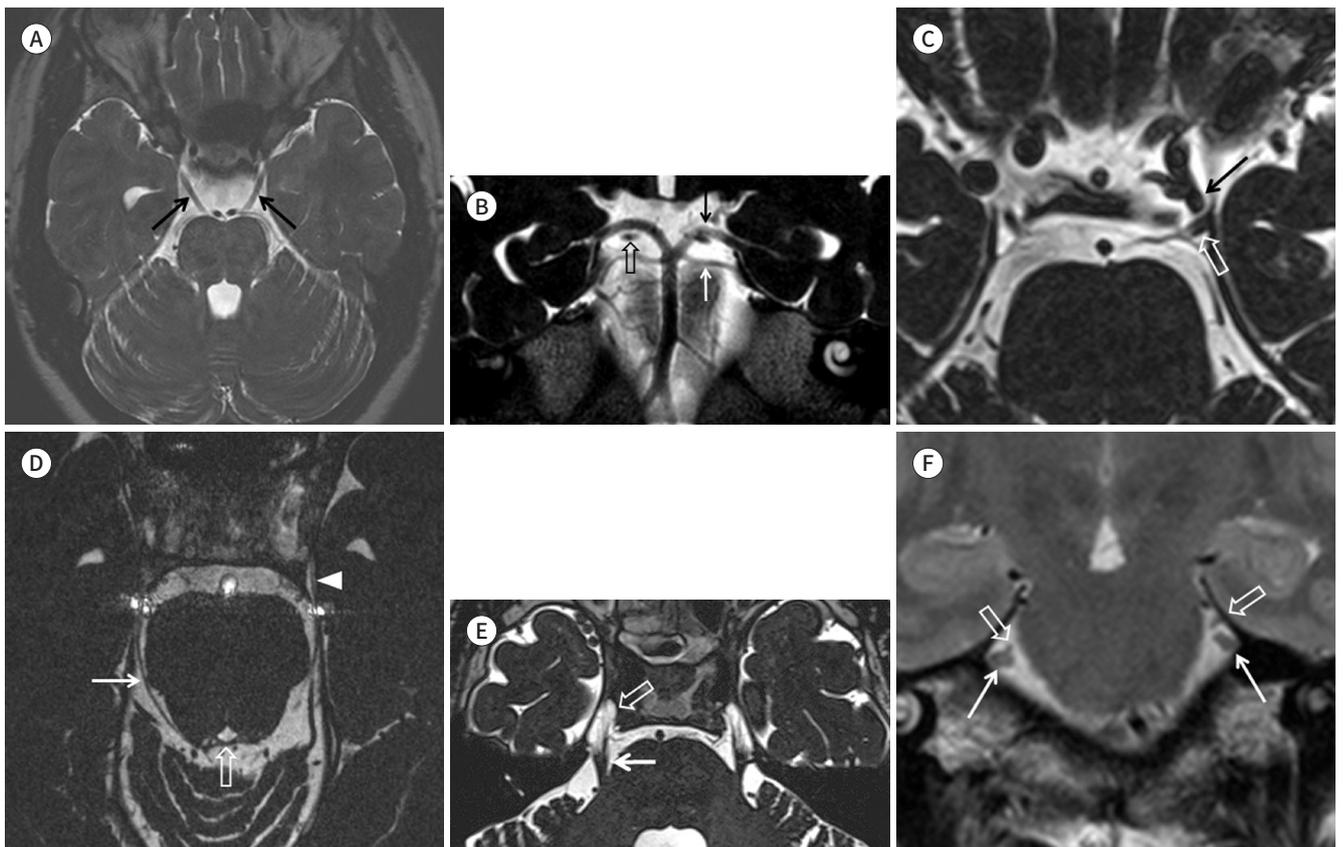
**C.** In a patient with pupil-involving CN III palsy, the left CN III (open arrow) is compressed by an aneurysm in the ipsilateral p-COM (arrow) directed posterolaterally. Because the parasympathetic fibers run along the superficial superomedial aspect of the CN III, they are more susceptible to extrinsic compression, such as aneurysms and tumors.

**D.** The right CN IV (arrow) travels within the ambient cistern after leaving the contralateral brain stem nucleus posteriorly through the superior medullary velum (open arrow). The left CN IV is seen in the ambient cistern more distally, entering the trochlear cistern (arrowhead) just beneath the tentorial edge.

**E.** After emerging from the lateral pons, the CN V (white arrow) runs anterosuperiorly through the prepontine cistern and enters the Meckel's cave (open arrow), thus becoming the dural cave segment of the CN V.

**F.** Within the prepontine cistern, the motor roots of the CN V (open arrows) can be seen as separate smaller structures, one to three in number, usually superior and medial to a larger sensory root (white arrows).

p-COM = posterior communicating artery, PCA = posterior cerebral artery



지로 후대뇌동맥과 상소뇌동맥 사이에 위치하게 된다(2, 5).

삼차신경의 수조구역은 교뇌 중간부의 외연을 떠난 신경이 전뇌교수조(prepontine cistern)로 진입한 후 추체첨(petrous apex) 상부에서 메켈강(Meckel's cave) 경막의 후면에 이르는 부분을 말한다(Fig. 7E). 전뇌교수조 내에서 삼차신경의 운동섬유는 흔히 감각섬유의 내측 상방에서 감각 섬유와 분리된 구조물로 관찰된다(Fig. 7F) (5, 18).

외전신경(abducent nerve, CN VI)의 수조구역은 교뇌-연수경계부(ponto-medullary junction)에서 뇌간의 앞쪽을 떠난 신경이 전뇌교수조로부터 위쪽으로 주행하여 사대(clivus) 경막의

**Fig. 7.** The cranial nerves in the cisternal segment on magnetic resonance cisternography.

**G, H.** After emerging from the anterior aspect of the pontomedullary junction, the CN VI (black arrow in **G**, white arrow in **H**) runs anterosuperolaterally through the prepontine cistern until it reaches the back of the clivus. Note the dural cave segment of the CN VI (open arrow) where the nerve is surrounded by the CSF within the inner layer of the dura. The arrowhead in **H** indicates the interdural segment of the CN VI, where the nerve is housed in the petroclival venous plexus.

**I.** The CN VII (arrow) and CN VIII (arrowhead) run parallel, high in the cerebellopontine angle cistern. The nervus intermedius (open arrow), which carries the sensory and parasympathetic fibers, passes between them before merging into the CN VII.

**J.** After emerging from the postolivary sulcus of the upper medulla, the CN IX (arrow) travels in the perimedullary cistern before entering a slit-like dural cave, which is the so-called recess for the CN IX (open arrow).

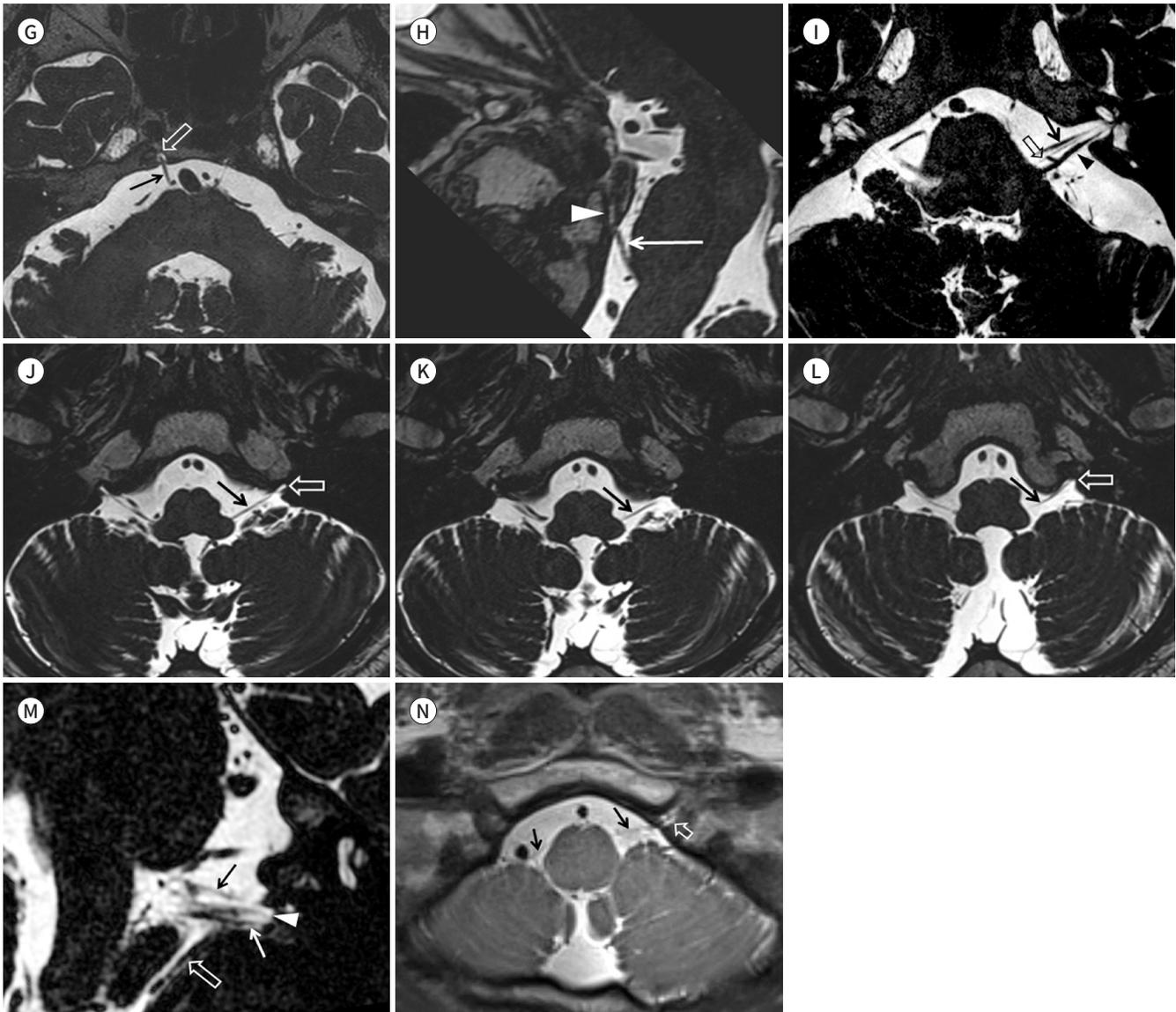
**K.** The CN X (arrow) travels in the perimedullary cistern below the CN IX.

**L.** The bulbar part of the CN XI (arrow) travels in the perimedullary cistern just below the CN X before entering a broader dural cave, which is the so-called recess for the CN X/CN XI complex (open arrow).

**M.** In the oblique reformatted coronal image, after emerging from the postolivary sulcus of the medulla oblongata, the CN IX (black arrow), CN X (arrowhead), and bulbar part of the CN XI (white arrow) are seen as parallel structures, running through the perimedullary cistern before reaching the jugular foramen. Note the spinal part of the CN XI (open arrow), which ascends in the spinal canal and joins the bulbar part in the perimedullary cistern just before entering the jugular foramen.

**N.** After emerging from the preolivary sulcus of the medulla oblongata, the CN XII (arrows) travels in the perimedullary cistern before entering the hypoglossal canal. Note the CN XII in the dural cave (open arrow), surrounded by the CSF inside the hypoglossal canal.

CSF = cerebrospinal fluid



후면에 이르는 부분이다(Fig. 7G, H).

안면신경과 전정와우신경(vestibulocochlear nerve, CN VIII)의 수조구역은 내이도(internal auditory canal)가 차지하는 경막굴구역과 동일한 구역이지만, 다른 뇌신경에 적용한 분류에 따라 이 종설에서는 수조구역과 경막굴구역을 구분하여 기술하고자 한다. 안면신경의 수조구역은 하부뇌교의 복외측(ventrolateral)으로부터 소뇌교각조(cerebellopontine angle cistern)로 나온 안면신경이 전정와우신경과 나란히 내이도 입구인 내이공(porus acusticus)에 이르는 구역으로, 안면신경의 중간신경은 운동신경과 하나로 합쳐지기 전 소뇌교각조나 내이도에서 안면신경의 운동신경과 전정와우신경 사이에 위치한다(Fig. 7I) (19).

각각 청각과 평형감각을 담당하는 와우신경(cochlear nerve)과 전정신경(vestibular nerve)으로 구성된 순수감각신경인 전정와우신경의 수조구역은 교뇌-연수경계부 뇌간의 후외측으로부터 소뇌교각조로 진입한 전정와우신경이 내이공에 이르는 부분을 말하며, 소뇌교각조에서 전정와우신경은 안면신경의 뒤쪽에 평행으로 주행한다(Fig. 7I).

설인신경(glossopharyngeal nerve, CN IX), 미주신경(vagus nerve, CN X), 두개부신경은 수조구역에서 비슷한 주행 경로를 가진다. 즉, 이 3개의 신경들은 모두 연수의 올리브후구(postolivary sulcus)에서 뇌간을 떠나 상하관계의 평행 경로를 유지하면서 전외측 방향으로 연수주위뇌수조(perimedullary cistern)를 주행하여 경정맥공(jugular foramen)으로 들어간다(Fig. 7J-M). 이와 더불어, 제1경추-제5경추의 척수핵에서 기원한 척추부신경 분지들은 치아인대(dentate ligament)의 뒤쪽에서 척수를 떠나 합해져 위쪽으로 진행하여 대공(foramen magnum)을 지난 후 연수주위뇌수조의 외측부에서 두개부신경과 합쳐져 경정맥공으로 진입한다(Fig. 7M) (1, 6).

설하신경의 수조구역은 연수의 올리브전구(preolivary sulcus)에서 여러 가닥의 세근(rootlet) 형태로 뇌간을 떠난 신경이 연수주위뇌수조에서 합해져 수조의 전외측을 주행한 후 설하신경관(hypoglossal canal)으로 진입할 때까지의 구간을 말한다(Fig. 7N).

수조구역의 뇌신경은 MRC와 같이 저신호강도의 뇌신경이 주위의 고신호강도의 뇌척수액과 현저한 대비를 이루는 삼차원(3D) 기법의 heavily T2WI에서 잘 관찰된다. MRI 제조사에 따라 조금씩 다른 영상기법이 사용되는데, 대표적인 기법으로는 급속스핀에코(fast spin echo; 이하 FSE)를 기반으로 하는 driven equilibrium radiofrequency reset pulse (DRIVE), fast recovery fast spin-echo (FRFSE), T2 volumetric Isotropic turbo spin echo acquisition (VISTA), T2 sampling perfection with application-optimized contrasts by using different flip angle evolutions (SPACE), T2 CUBE 등의 시퀀스와 급속기울기에코(fast gradient echo; 이하 FGE)를 기반으로 하는 balanced fast field echo (이하 bFFE), constructive interference in steady state (이하 CISS), fast imaging employing steady state acquisition (이하 FIESTA) 등의 시퀀스가 있다 (3-6, 20).

### 경막굴구역(Dural Cave Segment)

경막굴구역은 수조구역과 경막사이구역(interdural segment) 사이에 위치한 구역으로 뇌척수액을 둘러싸는 거미막(arachnoid membrane)의 일부가 경막 내층의 안쪽으로 돌출하여 생기는

공간이다. 이 구역에는 뇌신경별로 수조구역으로부터 유입되는 다양한 양의 뇌척수액이 존재하는데, 이 구역의 길이와 크기는 개인별로 다양하다. 경막굴구역의 입구를 porus라고 한다(4).

동안신경의 경막굴구역은 수조구역의 동안신경이 해면정맥동의 측상부를 따라 전상돌기(anterior clinoid process) 하방에서 정맥동에 진입할 때까지의 구역을 말하며, 이 부위의 동안신경을 둘러싼 뇌척수액공간을 동안신경수조(oculomotor cistern)라고 한다(Figs. 7A, 8A). 일반적으로 동안신경수조는 MRI 검사에서 75% 정도 관찰된다고 알려져 있다(21, 22).

활차신경의 경막굴구역은 수조구역에서 천막자유변연부(free tentorial edge)의 하측방을 따라 앞으로 진행한 활차신경이 천막을 뚫고 후추체침상돌기주름(posterior petroclinoid fold)을 통하여 해면정맥동으로 진입하기까지의 구역을 말하며, 동안신경과 마찬가지로 이 부위는 활차신경수조(trochlear cistern)라 불리는 뇌척수액공간이 활차신경을 둘러싸고 있다(Figs. 7D, 8B). 이 활차신경수조는 MRI 검사에서 50%의 빈도로 관찰된다고 한다(23).

삼차신경의 경막굴구역은 해부학적으로 메켈강에 위치한다. 메켈강은 추체점의 전상부에서 뇌척수액을 둘러싼 두 겹의 경막으로 이루어져 있는데, 이 곳에 위치한 뇌척수액공간을 삼차신경수조(trigeminal cistern)라고 하며 이 수조의 전하부에 삼차신경절(trigeminal ganglion, gasserian ganglion)이 위치한다(Figs. 7E, 8C) (24). 삼차신경절에서는 삼차신경의 감각섬유들만이 시냅스(synapse)를 이루며, 삼차신경의 운동섬유는 삼차신경절과 합류하지 않고 감각섬유들과는 따로 메켈강에서 삼차신경절의 하방에 위치한다(3, 25).

외전신경의 경막굴구역은 전뇌교수조로부터 외전신경이 사대의 뒤쪽에서 경막 내벽을 뚫고 추사체정맥총(petroclival venous plexus)이 위치한 경막사이구역(interdural segment)으로 진입하는 과정에서 전뇌교수조의 뇌척수액이 외전신경을 동반하는 구역으로 이 구역은 MRI 검사에서 77%의 빈도로 관찰된다고 한다(Fig. 7G) (26).

전술한 바와 같이 안면신경과 전정와우신경의 경막굴구역은 수조구역의 뇌척수액이 내이도로 연장된 공간으로 내이공으로부터 내이도저(fundus of internal auditory canal)에 이르는 구역을 일컫는다. 내이공(porus acousticus) 근처에서 전정와우신경은 와우신경과 전정신경으로 분리되는데, 후자는 다시 위쪽에 위치한 상전정신경(superior vestibular nerve)과 아래쪽에 위치한 하전정신경(inferior vestibular nerve)으로 나누어진다. 내이공 내에서 안면신경과 전정와우신경은 매우 특징적인 위치 관계를 유지하는데 안면신경이 전상방을 차지하고, 와우신경이 전하방, 상전정신경이 후상방, 그리고 하전정신경이 후하방을 차지한다(Figs. 7I, 8D, 8E). 2차 감각뉴런인 신경절 중 청각에 관여하는 나선신경절(spiral ganglion)이 내이 구조물인 와우축(cochlear modiolus)에 위치하는 반면, 평형감각에 관여하는 스킨가르파신경절(Scarpa ganglion)은 경막굴구역인 내이도저 근처의 전정신경에 작은 돌기 형태로 존재한다(Fig. 8D) (3). 내이도저로부터 약간 내측에는 하전정신경으로부터 분지되어 후반규관(posterior semicircular canal)으로 향하는 후팽대부신경(posterior ampullary nerve, singular nerve)을 볼 수 있다.

수조구역과 마찬가지로 설인신경, 미주신경, 부신경의 경막굴구역 역시 비슷한 구조와 경로를 보인다. 즉, 이 뇌신경들은 연수주위뇌수조로부터 경막 내벽을 뚫고 경정맥공이 위치한 경막사이구역으로 진입하는데, 이 과정에서 연수주위뇌수조의 뇌척수액이 뇌신경들을 동반할 수 있으며

이 부위를 경막굴구역이라고 한다(Figs. 7J, 7L, 8F). 비슷한 위치와 모양에 의하여 MRI에서 뇌신경 각각의 경막굴구역을 구분하기는 쉽지 않으나, 미주신경/부신경과 비교하여 설하신경의 경막굴구역이 측두골 후벽과의 각도가 더 예각이고 길다는 점이 서로를 구분하는데 도움이 될 수 있다 (Fig. 7J, 7L) (25).

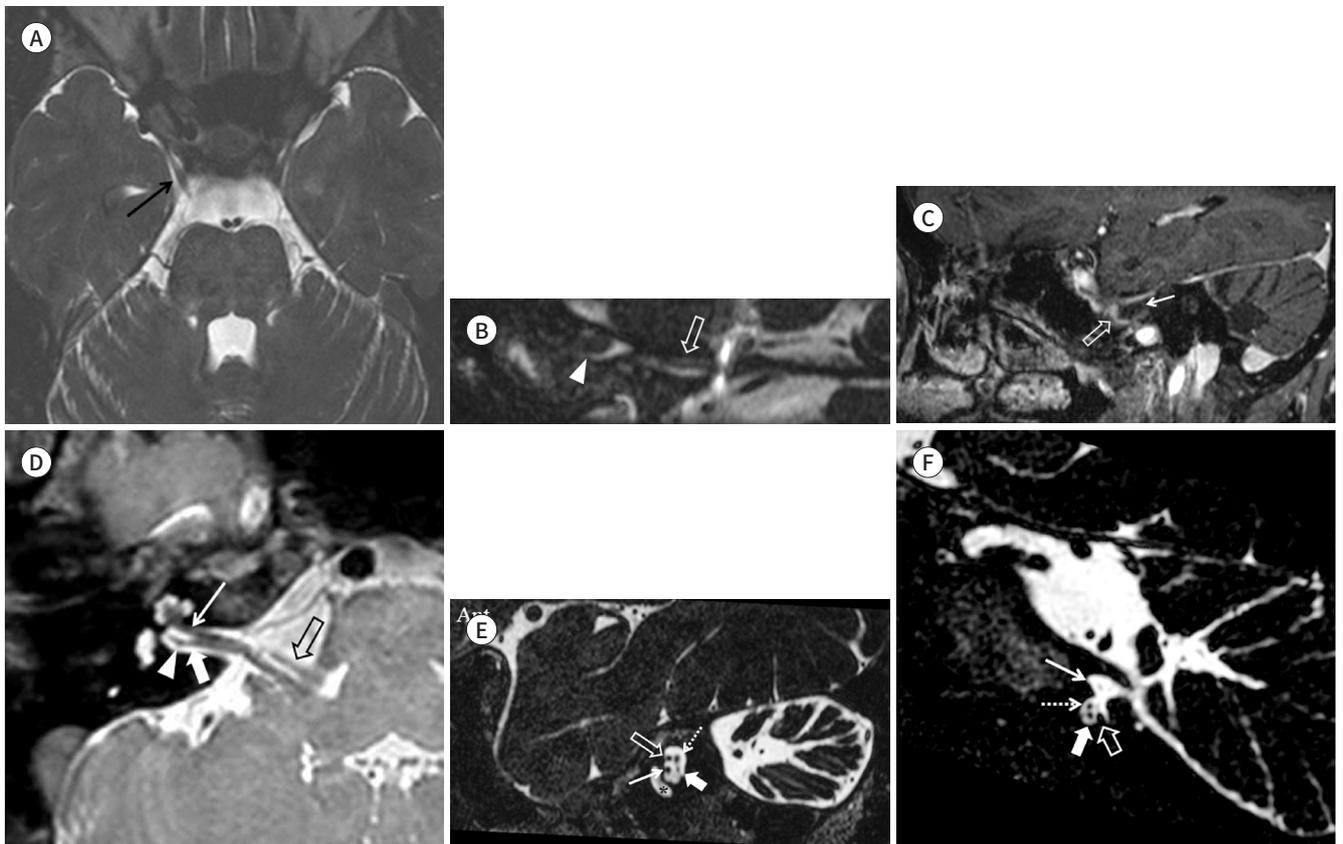
설하신경의 경막굴구역은 연수주위뇌수조를 주행한 신경이 설하신경관을 진입하면서 뇌척수액을 동반하는 구역을 말하는데, 설하신경의 경막굴구역은 다른 뇌신경들과 비교하여 개인별 차

**Fig. 8.** The cranial nerves in the dural cave segment.

**A.** Axial MRC demonstrates the dural cave segment of the CN III, the so-called oculomotor cistern (arrow), which extends from the interpeduncular cistern to the superolateral aspect of the cavernous sinus.

**B.** Reformatted sagittal MRC demonstrates the dural cave segment of the CN IV, the so-called trochlear cistern (open arrow), which is located inferior to the oculomotor cistern (arrowhead) and superior to the Meckel's cave. Refer to the image in Fig. 7D.

**C.** The reformatted sagittal contrast-enhanced T1-weighted image shows enhancement of the C-shaped Gasserian ganglion (open arrow) within the Meckel's cave (arrow).



**D.** Axial MRC at the lower level of the IAC shows the cochlear branch of the CN VIII (arrow), which is located anterior to the inferior vestibular branch (thick arrow) of the CN VIII. There is a tiny nodular thickening on the vestibular nerve near the IAC fundus, corresponding to the presumed site of the Scarpa's ganglion (arrowhead). The open arrow indicates the CN VII.

**E.** Reformatted oblique sagittal MRC through the fundus of the IAC demonstrates four divisions of the CN VII and CN VIII with the CN VII antero-superiorly (open arrow), cochlear branch of the CN VIII anteroinferiorly (arrow), and superior (dashed arrow) and inferior (thick arrow) vestibular branches of the CN VIII posterosuperiorly and posteroinferiorly, respectively. Note the basal turn of the cochlea (\*), lying anterior to the IAC.

**F.** Reformatted oblique sagittal MRC at the level of the jugular foramen shows two recesses for the lower cranial nerves. The upper recess contains the CN IX (arrow) while the lower recess includes the CN X (dashed arrow) and bulbar (thick arrow) and spinal (open arrow) parts of the CN XI.

Ant = anterior, IAC = internal auditory canal, MRC = magnetic resonance angiography

이가 크다고 알려져 있다(Fig. 7N) (27).

수조구역과 마찬가지로 경막굴구역의 뇌신경은 MRC와 같이 급속스핀에코 또는 급속기울기에 코를 이용한 3D heavily T2WI에서 잘 관찰된다(4). 혈액신경장벽(blood nerve barrier) 때문에 조영증강되지 않는 다른 신경조직과 달리 삼차신경절에는 혈액신경장벽이 없기 때문에 조영증강 후 MRI에서 초승달 모양으로 조영증강 된다(Fig. 8C) (3, 22).

### 경막사이구역(Interdural Segment)

경막사이구역은 뇌신경이 경막의 외층과 내층 사이의 공간을 통과하는 구역이다. 골막층(perio-osteal layer)이라 불리는 경막의 외층은 두개골 내벽에 붙어 있으며 두개골의 봉합선(suture)이나 두개공(foramen)을 통하여 두개골의 외골막(outer periosteum)과 연결된다. 뇌막층(meningeal layer)이라 불리는 경막의 내층은 대부분 경막 외층과 맞닿아 있어 일반적으로 경막의 내층과 외층 사이는 뚜렷한 공간 없이 잠재적인 공간만 존재한다. 그러나, 뇌정맥동이나 정맥총이 발달한 곳에서는 정상적으로 경막의 외벽과 내벽 사이에 정맥혈에 의한 넓은 경막사이공간을 볼 수 있으며, 특히 해면정맥동과 추사체정맥총이 위치한 경막사이구역에는 동안신경, 활차신경, 안신경(ophthalmic nerve, CN V<sub>1</sub>), 상악신경(maxillary nerve, CN V<sub>2</sub>), 외전신경 등 여러 뇌신경이 주행한다(3, 4, 22, 28).

경막사이구역인 해면정맥동에 위치한 뇌신경들은 외전신경을 제외하고는 모두 정맥동의 외벽에 존재한다. 이 중 동안신경이 가장 상부에 위치하고 그 아래에 순서대로 활차신경, 안신경, 상악신경이 위치하는데(Fig. 9A), 활차신경은 상안와열(superior orbital fissure) 근처에서 동안신경의 외벽을 타고 동안신경의 측상부에 위치하게 된다(Fig. 9B) (3). 외전신경은 CN VI의 내측에서 내경동맥의 측벽과 인접한 해면정맥동의 안쪽에 위치한다(Fig. 9A, C). 해면정맥동 내에서 내경동맥을 따라 주행하던 교감신경은 잠시 외전신경을 따라 주행한 후 다시 경로를 바꾸어 안신경을 따라 안와로 진입한다(22). 수조구역을 거친 외전신경은 해면정맥동에 진입하기 전 사대의 후벽 경막의 내층을 뚫고 추사체정맥총이 위치한 또 다른 경막사이구역을 통과하는데(Fig. 9C) 전술한 바와 같이 외전신경의 경막굴구역도 해부학적으로는 이 경막사이구역으로 스며든 뇌척수액에 의한 공간이다. 추사체정맥총을 통과한 외전신경은 그루버인대(Gruber ligament) 하방에서 추체첨(petrous apex)을 넘어 메켈강 직상부에서 해면정맥동의 후상부로 진입한다(3, 22, 26). 도렐로씨관(Dorello's canal)은 추사체정맥총에서 외전신경이 주행하는 통로를 말하는데(Fig. 9D), 원래는 그루버인대와 추체첨 사이를 지나는 부분만을 지칭하는 용어지만, 요즘에는 추사체정맥총 내를 통과하는 외전신경 경로 전체를 통칭하는 용어로 사용하기도 한다(22).

경막사이구역의 뇌신경은 해면정맥동이나 추사체정맥총과 같이 풍부한 정맥혈 내에 존재하기 때문에 조영제 주입 후 획득한 FGE나 FSE 기법의 3D T1 강조영상(T1-weighted image; 이하 T1WI)이나 자기공명혈관조영술(contrast-enhanced magnetic resonance angiography; 이하 CE-MRA)에서 조영증강되는 정맥혈을 배경으로 조영증강되지 않는 충만결손(filling defect) 형태의 뇌신경을 잘 관찰할 수 있다(Fig. 9A-D) (3, 29). 대표적인 3D FGE T1WI 기법으로는 balanced turbo field echo (bTFE), magnetization-prepared rapid gradient echo (MPRAGE), fast

spoiled gradient echo (FSPGR), T1-weighted high resolution isotropic volume examination (THRIVE), volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE) 등이 있다(3). 또한 T2/T1 값에 연동되어 대조도(contrast)가 결정되는 bFFE, CISS, FIESTA와 같은 항정상태자유세차

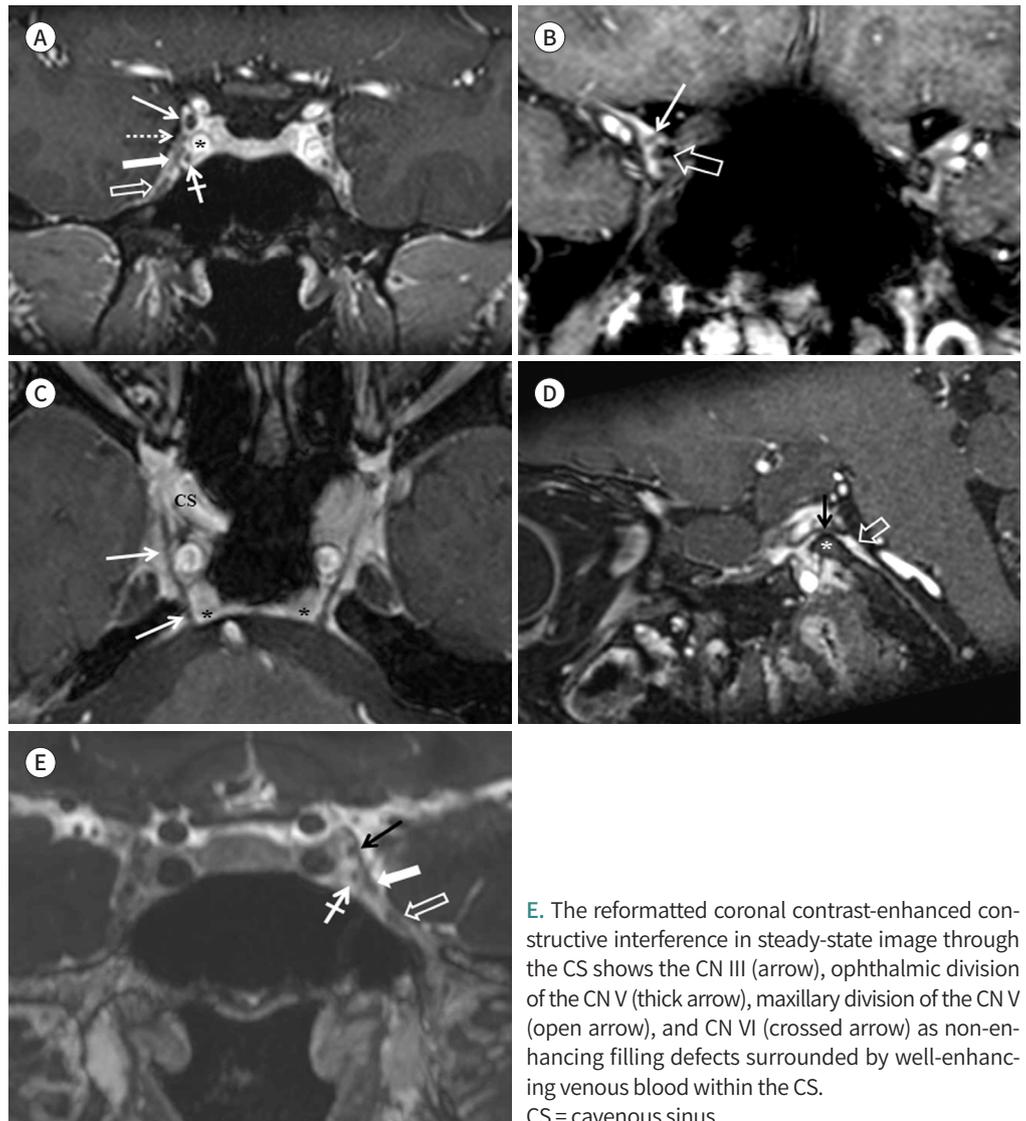
**Fig. 9.** The cranial nerves in the interdural segment.

**A.** The reformatted coronal contrast-enhanced T1-weighted image through the CS shows the CN III (arrow), CN IV (dashed arrow), ophthalmic division of the CN V (thick arrow), maxillary division of the CN V (open arrow), and CN VI (crossed arrow). The nerves are seen as non-enhancing filling defects surrounded by well-enhancing venous blood within the cavernous sinus. Among the cranial nerves, the CN VI is the only one that traverses the central venous compartment of the CS while the other nerves run in the fibrous lateral wall. \*Indicates the internal carotid artery.

**B.** The reformatted coronal contrast-enhanced T1-weighted image through the superior orbital fissure shows the CN IV (arrow) above and lateral to the CN III (open arrow).

**C.** The axial contrast-enhanced T1-weighted image through the CS shows the CN VI (arrows) within the petroclival venous plexus (\*) and CS as a non-enhancing long tubular filling defect.

**D.** The reformatted sagittal contrast-enhanced T1-weighted image through the CS shows the CN VI (arrow) within Dorello's canal as a non-enhancing tubular filling defect just above the petrous apex (\*). The open arrow indicates the petroclival venous plexus.

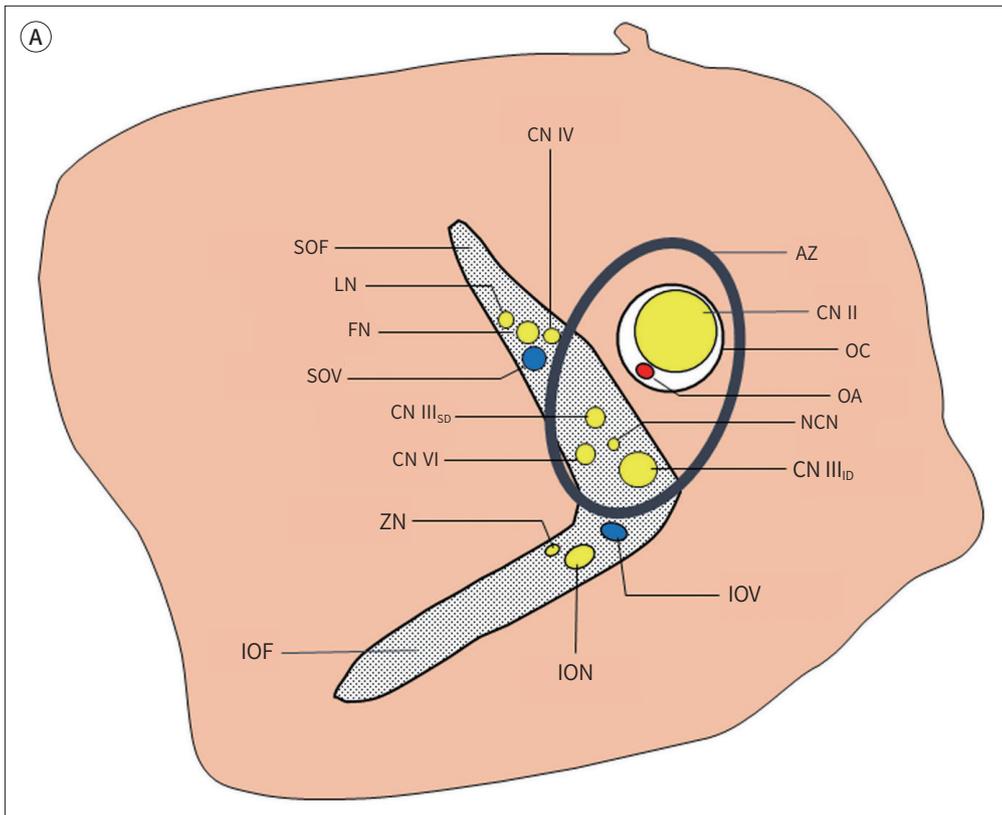


**E.** The reformatted coronal contrast-enhanced constructive interference in steady-state image through the CS shows the CN III (arrow), ophthalmic division of the CN V (thick arrow), maxillary division of the CN V (open arrow), and CN VI (crossed arrow) as non-enhancing filling defects surrounded by well-enhancing venous blood within the CS. CS = cavernous sinus

Fig. 10. The cranial nerves in the foraminal segment.

A. A schematic drawing of the cranial nerves in the SOF. While the nasociliary nerve, a branch of the ophthalmic division of the CN V, CN III, and CN VI enter the SOF through the AZ into the intraconal space of the orbit, the FN, LN, which are also branches of the ophthalmic division of the CN V, and CN IV enter the extraconal space of the orbit above the AZ.

AZ = annulus of Zinn, CN III<sub>SD</sub> = superior division of the oculomotor nerve, CN III<sub>ID</sub> = inferior division of the oculomotor nerve, FN = frontal nerve, IOF = inferior orbital fissure, ION = infraorbital nerve, IOV = inferior ophthalmic vein, LN = lacrimal nerve, OA = ophthalmic artery, OC = optic canal, SOF = superior orbital fissure, SOV = superior ophthalmic vein, ZN = zygomatic nerve



(steady-state free precession; 이하 SSFP) 기법도 T2WI에서와 같은 고공간해상도 영상획득과 함께 T1WI에서와 같은 조영증강 효과가 있어 경막사이구역의 뇌신경을 관찰하는데 매우 유용하다(Fig. 9E) (4, 22, 28, 30).

### 두개공구역(Foraminal Segment)

전정과우신경을 제외한 모든 뇌신경들은 두개저에 위치한 두개공을 통하여 두개 밖으로 주행하는데, 이 구역을 뇌신경의 두개공구역이라고 한다. 하나 또는 수개의 뇌신경이 다양한 위치의 두개공을 통과한다. 두개공은 경막의 골막층으로 둘러싸여 있으며, 대부분 풍부한 정맥층이 뇌신경을 감싸고 있다(3, 4).

동안신경, 활차신경, 안신경, 외전신경은 모두 상안와열을 통하여 두개 밖 구조물인 안와로 진입한다(Fig. 10A). 해면정맥동의 측상부로부터 상안와열로 진입한 동안신경은 상안와열의 중심부에 위치하며 상안와열 후방에서 상지(superior branch)와 하지(inferior branch)로 나누어져 찢서

총건륜(annulus of Zinn)의 안쪽을 통해 안와의 원추내공간(intraconal space)으로 진입한다(Fig. 10A, B) (3, 4, 22). 해면정맥동의 측상부로부터 상안와열로 진입한 활차신경은 상안와열의 측상부에 위치하며 찌꺼총건륜의 바깥쪽을 통해 안와의 원추외공간(extraconal space)으로 진입한다(Figs. 9B, 10A, 10C). 해면정맥동의 측부로부터 상안와열로 진입한 안신경은 상안와열에서 세 개의 분지를 내는데, 이 중 전두신경(frontal nerve)과 누선신경(lacrimal nerve)은 상안와열의 측상부에서 찌꺼총건륜의 바깥쪽을 통해 안와의 원추외공간으로 진입하는 반면, 비모양체신경(nasociliary nerve)은 상안와열의 아래쪽에서 찌꺼총건륜의 안쪽을 통해 안와의 원추내공간으로 진입한다(Fig. 10A) (3, 5, 22). 해면정맥동으로부터 상안와열로 진입한 외전신경은 상안와열의 아래쪽에서 찌꺼총건륜의 안쪽을 통해 안와의 원추내공간으로 진입한다(Fig. 10A) (22).

상악신경은 해면정맥동의 측하벽으로부터 정원공(foramen rotundum)을 통하여 두개 밖으로 주행한다. 정원공에는 상악신경 주위로 정맥총이 잘 발달해 있는데 조영증강 후 MRI에서 상악신경은 정상적으로 정원공 지름의 50%가량을 차지한다고 한다(Fig. 10D) (31).

삼차신경의 분지 중 안신경 및 상악신경과는 달리 하악신경(mandibular nerve, CN V<sub>3</sub>)은 메켈강에 있는 삼차신경절로부터 해면정맥동을 거치지 않고 삼차신경절의 직하부에 위치한 운동신경과 합쳐진 후 직접 난원공(foramen ovale)을 통하여 두개 밖으로 주행한다. 정원공과 마찬가지로 난원공에도 하악신경 주위로 정맥총이 존재하는데 정상적으로 조영증강 후 MRI에서 하악신경은 난원공 지름의 80%가량을 차지한다(Fig. 10E) (31).

안면신경의 두개공구역은 내이도저에서 측두골의 안면신경관(facial canal)을 통과하는 구역으로 안면신경은 모든 뇌신경 중 뼈를 통과하는 이 두개공구역의 길이가 가장 길다. 측두골 내에서 안면신경은 미로부(labyrinthine portion), 고실부(tympanic portion), 유돌부(mastoid portion)의 세 부분으로 나누어진다. 미로부와 고실부 경계 부위를 안면신경의 제1슬(first genu)이라고 하는데 이곳에 슬신경절(geniculate ganglion)이 위치하며 이 슬신경절로부터 누선(lacrimal gland)과 구개선(palatine gland)의 분비에 관여하는 부교감신경계인 대천추체신경(greater superficial petrosal nerve)이 기시한다. 대천추체신경은 교감신경계인 심부추체신경(deep petrosal nerve)과 합쳐져 익돌관신경(vidian nerve)을 형성하여 익돌관(vidian canal)을 통과한 후 익구개와(ptyergopalatine fossa)에 위치한 익구개신경절(ptyergopalatine ganglion)과 연결된다(3, 5, 31, 32). 고실부와 유돌부의 경계 부위를 안면신경의 제2슬(second genu)이라고 한다. 안면신경의 유돌부는 등골근신경(nerve to stapedius)과 고삭신경(chorda tympani) 등 2개의 분지를 낸 후 경유돌공(stylomastoid foramen)을 통하여 측두골을 벗어나 두개공밖구역에 진입한다(3, 5). 고삭신경은 경유돌공을 떠나기 직전 유돌부에서 분지하여 전상방으로 주행하다가 고막의 뒤쪽에서 고실로 진입하여 추골(malleus)과 침골(incus) 사이를 거쳐 추체고실열(petrotympenic fissure)을 통하여 측두하와(infratemporal fossa)로 진입한 후 설신경(lingual nerve)과 합류한다. 안면신경의 다른 구역과 달리 해부학적으로 안면신경관에는 안면신경 주위에 풍부한 동정맥총(arteriovenous plexus)이 있기 때문에 조영증강 후 MRI에서 두개공구역의 안면신경이 정상적으로 조영증강을 보인다(Fig. 10F) (33). 이 조영증강은 슬신경절, 고실부, 대천추체신경의 근위부 및 유돌부에 흔하나 미로부에서는 드물게 관찰된다. 정상적으로도 양측 안면신경관이 비대칭

**Fig. 10.** The cranial nerves in the foraminal segment.

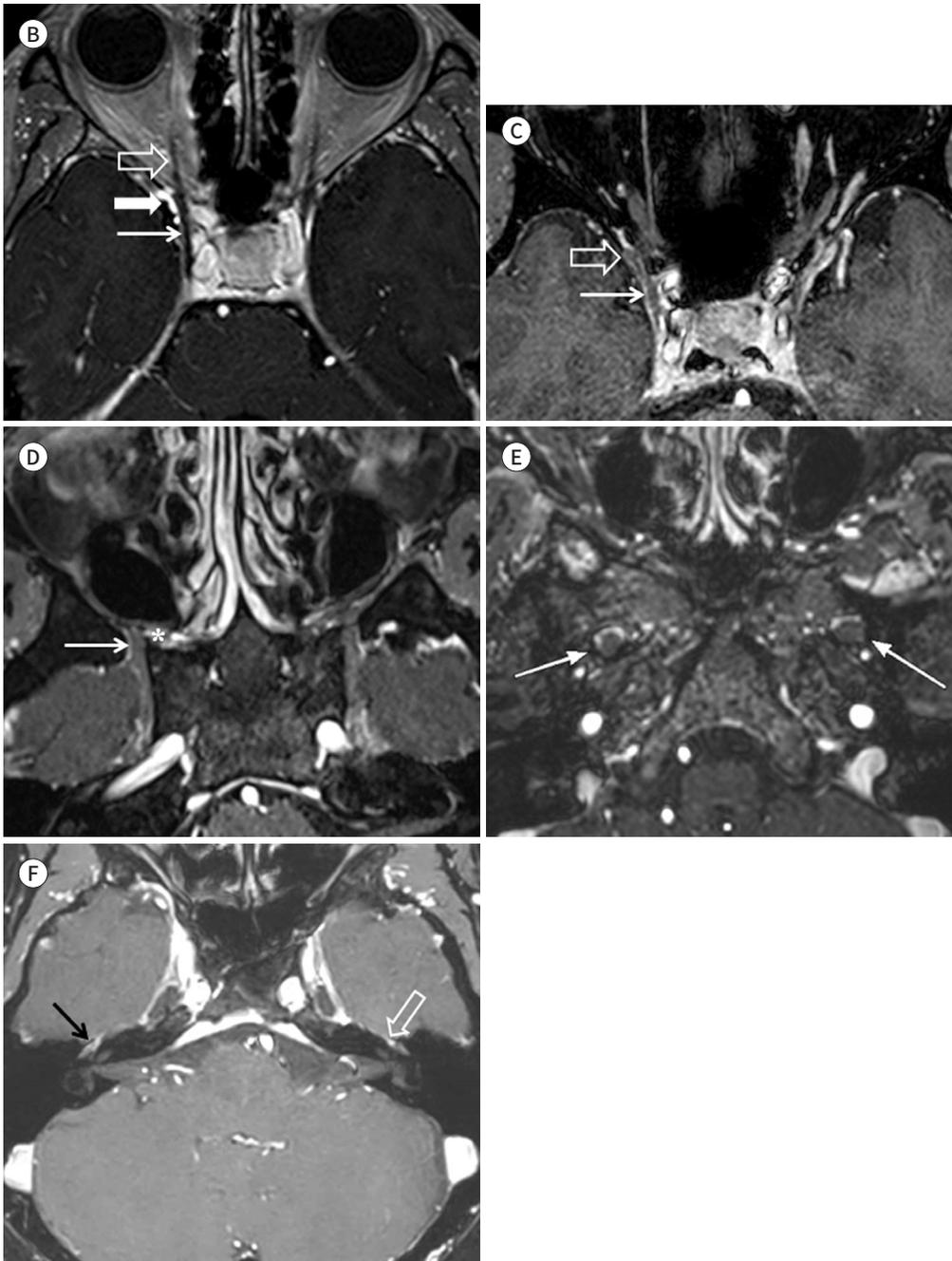
**B-F.** Axial CE-T1WI, **B.** Image through cavernous sinus shows the CN III (arrow) entering the orbit through the SOF (thick arrow). The open arrow indicates the inferior division of the CN III.

**C.** Image through the superior orbital fissure shows the CN IV (open arrow) lying lateral to the CN III (arrow) before entering the orbit.

**D.** The maxillary division of the CN V within the foramen rotundum (arrow) to reach the upper portion of the pterygopalatine fossa (\*).

**E.** The mandibular division of the CN V within the foramen ovale (arrows) surrounded by the venous plexus.

**F.** Normal enhancement at the geniculate and tympanic segments of the CN VII (arrow) due to the abundant circumneural arteriovenous plexus. Note the normal enhancement along the greater superficial petrosal nerve on the left (open arrow).



적으로 조영증강을 보일 수 있으므로 MRI 영상판독에 주의를 요한다(33).

설인신경, 미주신경, 부신경은 모두 경정맥공(jugular foramen)이라는 동일한 두개공구역을 통하여 두개 밖으로 나간다. 경정맥공은 추체골과 후두골 사이에 위치하며, 경정맥극(jugular spine)과 경정맥인대(jugular ligament)에 의하여 전내측의 작은 신경부(pars nervosa)와 후외측의 큰 혈관부(pars vascularis)로 구분된다(Fig. 10G). 일반적으로 신경부에는 설인신경과 하추체정맥동(inferior petrosal sinus)이 위치하고, 혈관부에는 경정맥, 미주신경, 부신경, 후뇌막동맥(posterior meningeal artery)이 위치하는데 이 외에도 다양한 해부학적 변이가 존재한다(Fig. 10G, H) (34-36).

설인신경은 경정맥공에서 상신경절(superior ganglion)과 하신경절(inferior ganglion) 등 2개의 신경절을 가지며, 이 중 하신경절로부터 고실분지인 야콥슨신경(Jacobson nerve)이 기시한다. 야콥슨신경은 하고실소관(inferior tympanic canaliculus)을 통하여 고실의 와우곶(cochlear promontory)에서 신경총을 이루며, 이후 부교감신경계인 소추체신경(lesser petrosal nerve)을 통하여 귀신경절(otic ganglion)로 전달된 후 이개측두신경(auriculotemporal nerve)을 통하여 이하선(parotid gland)의 타액 분비를 담당한다.

미주신경과 부신경은 경정맥공에서 같은 경막집(dural sheath)을 공유하며 서로 혼재되어 있어 구분이 쉽지 않다(35, 36). 설인신경과 마찬가지로 미주신경도 상, 하 두개의 신경절을 가지는데 상신경절은 경정맥공에 위치하는 반면, 하신경절(nodose ganglion)은 경정맥공의 직하부에 위치한다. 상신경절로부터 수막분지(meningeal branch)와 아놀드신경(Arnold nerve)이라 불리는 이개분지(auricular branch)가 분지 된다. 아놀드신경은 경정맥공으로부터 유돌관(mastoid canaliculus)을 통하여 안면신경의 유돌부와 연결되어 고막외측과 외이, 외이도의 감각을 담당한다.

부신경은 연수주위뇌수조의 외측부에서 두개부신경과 척추부신경이 합쳐져 미주신경의 직하부에서 경정맥공의 혈관부로 들어오는데 경정맥공에서 부신경은 신경분지를 내지 않는다(3, 36).

설하신경의 두개공구역은 설하신경이 설하신경관을 지나는 부분을 말한다. 설하신경관은 경정맥결절(jugular tubercle)과 후두과(occipital condyle) 사이에 위치하는 두개공으로 상악신경과 하악신경이 위치한 정원공이나 난원공과 같이 신경주위로 정맥총이 매우 잘 발달되어 있어 설하신경은 정상적으로 조영증강 후 MRI에서 설하신경관 지름의 20% 정도만 차지한다고 한다(Fig. 10I) (31).

경막사이구역에서와 마찬가지로 두개공구역의 뇌신경은 풍부한 정맥총을 배경으로 조영제 주입 후 획득한 3D CE-T1WI, CE-MRA, CE-SSFP 기법으로 다양한 두개공 내의 뇌신경을 잘 관찰할 수 있다(3, 4, 22, 35).

### 두개공밖구역(Extraforaminal Segment)

두개공을 통하여 두개 밖으로 나온 뇌신경들은 수많은 신경분지를 따라 궁극적으로 신경이 지배하는 구조물을 향해 주행하는데, 정도의 차이는 있으나 대부분의 뇌신경은 두개공밖구역에서 최종 목적지에 도달하는 동안 다양한 분포의 지방조직을 통과한다(3, 4).

상안와열에서 상하 두 분지로 나누어진 후 찢씨총건륜을 통해 안와의 원추내공간으로 들어간

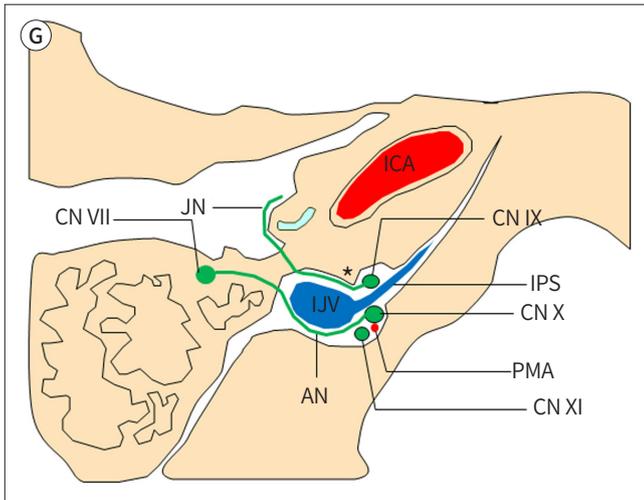
동안신경의 상분지는 상직근(superior rectus muscle)과 상안검거근(levator palpebrae superioris)을 지배하고, 하분지는 내직근(medial rectus muscle), 하직근(inferior rectus muscle), 하사근(inferior oblique muscle)을 지배한다. 또한 하분지는 모양체신경절(ciliary ganglion)을 통하여 안구에 부교감신경섬유를 전달한다.

상안와열에서 찌꺼기축거근의 바깥쪽 위쪽에서 안와의 원추외공간으로 진입한 활차신경은 내측으로 향하여 상사근(superior oblique muscle)을 지배한다.

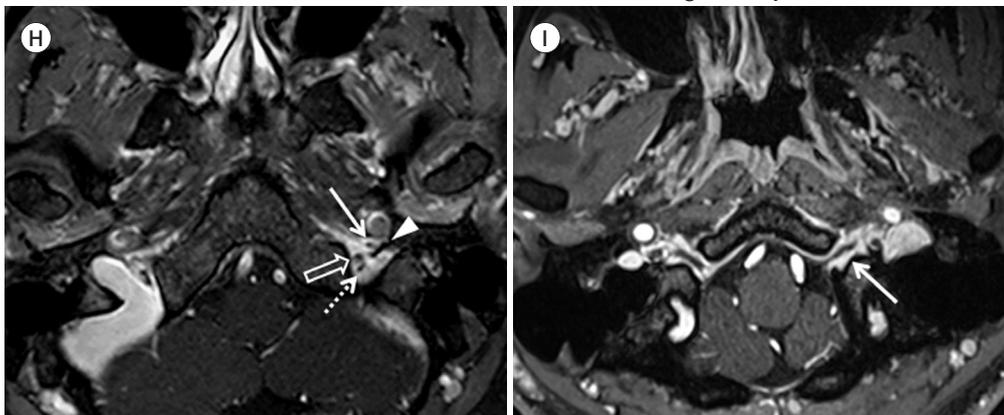
상안와열에서 나뉜 안신경의 세 분지 중 전두신경은 안와의 원추외공간의 상부를 지나면서 내

Fig. 10. The cranial nerves in the foraminal segment.

G. A schematic drawing of the jugular foramen. The jugular foramen is divided into two parts by the jugular spine (\*) and jugular ligament. The pars nervosa, which is smaller and located anteromedially, contains the CN IX and IPS. The larger pars vascularis is located posterolaterally and contains the CN X, CN XI, IJV, and PMA. From the inferior ganglion of the CN IX arises the JN, which forms the neural plexus on the cochlear promontory through the inferior tympanic canaliculus. From the superior ganglion of the CN X arises the AN, which is connected to the mastoid segment of the CN VII through the mastoid canaliculus.



AN = Arnold nerve, ICA = internal carotid artery, IJV = internal jugular vein, IPS = inferior petrosal sinus, JN = Jacobson nerve, PMA = posterior meningeal artery



H. The axial contrast-enhanced T1-weighted image through the jugular foramen shows the CN IX (arrow), which is located anteriorly in the pars nervosa, CN X (open arrow), and bulbar part of the CN XI (dashed arrow), which are located posteriorly in the pars vascularis, as multiple filling defects in the background of the enhancing venous structures within the jugular foramen. The arrowhead indicates the jugular spine.

I. The axial contrast-enhanced T1-weighted image through the hypoglossal canal shows the CN XII (arrow), which is seen as a non-enhancing tubular filling defect surrounded by the well-enhancing venous plexus.

측의 활차상신경(supratrochlear nerve)과 외측의 안와상신경(supraorbital nerve) 두개의 분지로 나누어져 눈꺼풀, 눈썹, 이마, 두피의 감각을 지배한다. 누선신경도 전두신경의 외측에서 안와의 원추외공간의 상부를 지나 누선의 감각을 지배한다. 안와의 원추내공간으로 진입한 비모양체신경은 안와의 전내측으로 주행하여 안신경의 상부를 넘어 모양체신경절과의 교통분지(communicating branch), 장모양체신경(long ciliary nerve), 전/후사골신경(anterior/posterior ethmoidal nerve), 활차하신경(infracrochlear nerve) 등 여러 감각신경을 분지한다(Fig. 11A). 비모양체신경은 각막, 모양체, 홍채, 결막, 코의 피부, 비강 및 사골동점막의 감각을 지배하며, 또한 교감신경계인 장모양체신경을 통하여 동공확대근(dilator pupillae)을 지배한다(5, 31, 37).

상안와열에서 찌꺼기통을 통해 안와의 원추내공간으로 들어간 외전신경은 안와의 전외측으로 주행하여 외직근(lateral rectus muscle)을 지배한다.

상악신경은 정원공을 통하여 두개 밖으로 나온 후 익구개와로 진입하여 익구개신경절과 교통하는 익구개신경(pterygopalatine nerve), 관골신경(zygomatic nerve), 후상치조신경(posterior superior alveolar nerve)을 분지한다(Fig. 11B). 이후 상악신경은 하안와열(inferior orbital fissure)을 통하여 안와로 진입하여 안와하신경(infraorbital nerve)으로 이어져 안와 바닥에 있는 안와하구(infraorbital groove)를 따라 주행하는데, 안와하신경은 전/중상치조신경(anterior/middle superior alveolar nerve)을 분지한 후 안와하공(infraorbital foramen)을 통하여 중간안면부로 나와 말단분지로 나뉜다. 익구개와는 다양한 신경경로를 통하여 두개, 안와, 비강 및 비인두, 구강 등으로 연결되는데, 이러한 해부학적 특성에 기인하여 구강에 발생한 악성종양의 신경주위침습(perineural tumor spread) 등 두개 밖 병변의 두개 내 파급에 중요한 역할을 한다(3, 5, 6, 31).

난원공을 통하여 두개공 밖으로 나간 하악신경은 내/외익돌근(medial/lateral pterygoid muscle) 사이의 저작근공간(masticator space)으로 진입하여 경막분지와 내익돌신경(medial pterygoid nerve)을 분지한 후, 앞쪽 작은 운동신경다발과 뒤쪽 큰 감각신경다발로 나누어진다. 내익돌신경은 귀신경절로 몇 개의 분지를 내는데 이를 통하여 구개범장근(tensor veli palatine muscle)과 고막긴장근(tensor tympani muscle)을 지배한다. 운동신경다발로부터 교근(masseter muscle), 측두근(temporalis muscle), 외익돌근(lateral pterygoid muscle) 등 저작근(masticatory muscle)을 지배하는 운동신경들과 뺨의 점막과 피부의 감각을 지배하는 볼신경(buccal nerve)이 분지되며, 감각신경다발로부터 이개측두신경, 혀신경, 하치조신경(inferior alveolar nerve) 등 세 개의 감각신경이 분지 된다(Fig. 11C) (3-5, 31, 37). 이개측두신경은 감각신경다발의 첫째분지로 주로는 감각신경이지만, 전술한 바와 같이 안면신경/설인신경에서 유래한 부교감신경섬유가 소추체신경과 귀신경절을 거쳐 이개측두신경으로 전달되어 이하선의 타액 분비도 담당한다. 이개측두신경은 난원공 하방에서 상하 두 갈래로 나누어져 중간뇌막동맥(middle meningeal artery)을 좌우로 감싼 후 다시 합해져 악관절의 내측면 가까이 주행한 후 외경동맥이 천측두동맥(superficial temporal artery)과 내상악동맥(internal maxillary artery)으로 분지하는 직상부에서 하악 후방의 이하선으로 진입한다(Fig. 11D). 교근의 직후방에서 이개측두신경은 안면신경과 교통하는데 이로 말미암아 이개측두신경의 감각정보가 안면신경의 말단분지를 통하여 피부에 전달된다. 이 외에도, 이개측두신경은 악관절, 귓바퀴 전상부, 외이도, 측두부의 감각을 담당한다(5, 31,

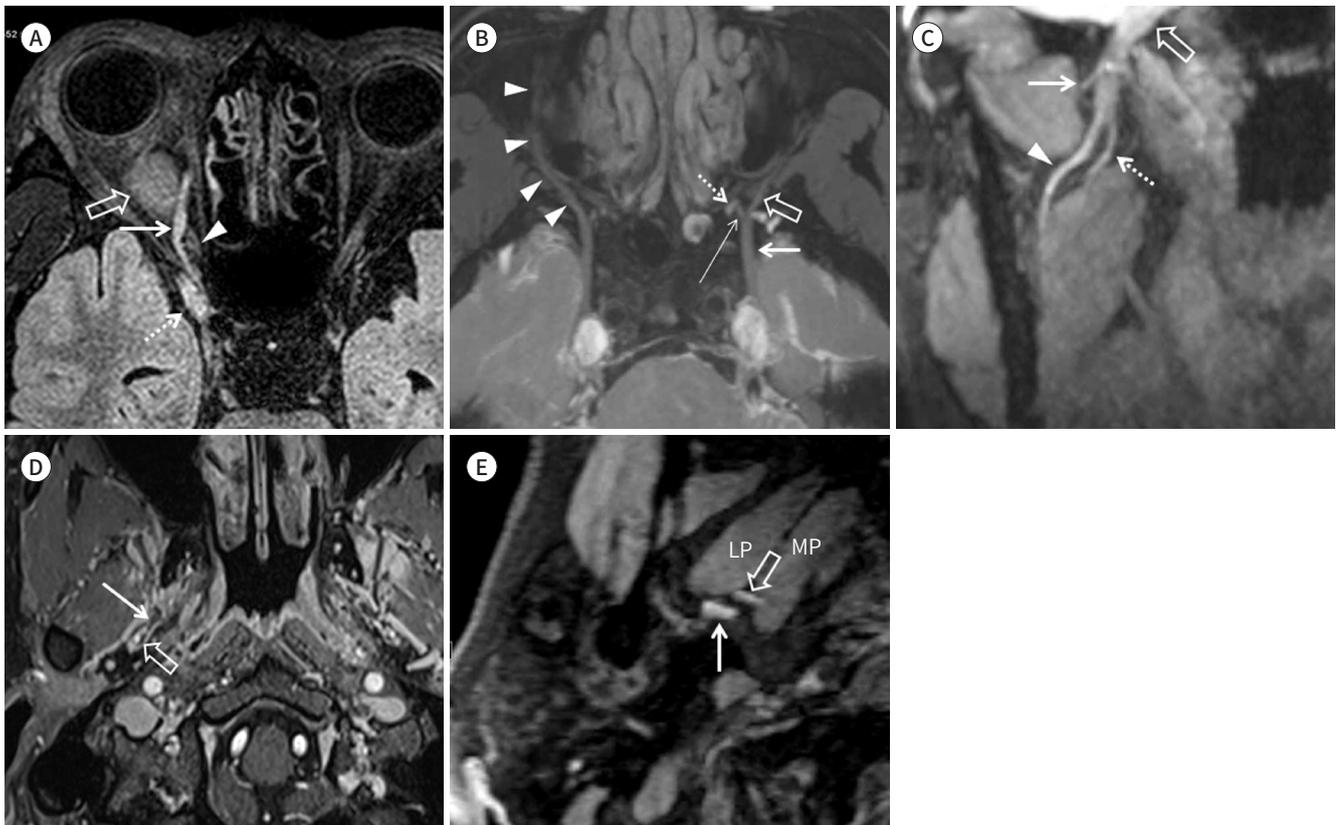
37, 38). 혀신경 역시 대부분 감각신경이나, 측두하와에서 부교감신경섬유를 가지는 안면신경의 분지인 고삭신경과 합해지는 해부학적 이유로 악하신경절(submandibular ganglion)을 통하여 설하선(sublingual gland)과 악하선(submandibular gland)의 타액 분비에도 관여한다. 혀신경은 저작근공간에서 하치조신경의 앞쪽에서 외익돌근의 하내측 경계를 따라 앞쪽, 아래쪽 외측으로 주행하다가 내익돌근과 하악골지(mandibular ramus) 사이에서 앞쪽, 아래쪽 내측으로 진행하여 하악설골근(mylohyoid muscle)의 후내측에서 구강저(floor of mouth)로 진입한다(Fig. 11E). 이

**Fig. 11.** The cranial nerves in the extraforaminal segment.

**A.** In a patient with neurofibromatosis type 1, 3D axial volume isotropic turbo spin-echo acquisition fluid-attenuated inversion recovery image of the orbit demonstrates a tumorous enlargement of the nasociliary nerve (arrow). After arising from the ophthalmic division of the CN V<sub>1</sub>, the nasociliary nerve enters the intraconal space of the orbit and runs anteromedially crossing over the CN II (arrowhead) to reach the medial wall of the orbit. The tumor also involves the frontal nerve (open arrow) and CN V<sub>1</sub> (dashed arrow).

**B.** The 3D axial DESS-WE image through the foramen rotundum demonstrates the maxillary division of the CN V<sub>2</sub> (arrow). The nerve enters the pterygopalatine fossa, gives off a small connecting branch (long arrow) to the pterygopalatine ganglion (dashed arrow), and continues anteriorly as the infraorbital nerve (open arrow). Note the characteristic bayonet appearance of the CN V<sub>2</sub> through the inferior orbital fissure on the right (arrowheads).

**C.** The 3D reformatted coronal DESS-WE image through the foramen ovale demonstrates the mandibular division of the CN V (open arrow). The nerve enters the infratemporal fossa and gives off three sensory branches from its posterior bundle: the auriculotemporal nerve (arrow), lingual nerve (dashed arrow), and inferior alveolar nerve (arrowhead).



**D.** The axial contrast-enhanced T1-weighted image demonstrates the auriculotemporal nerve (arrow) in the infratemporal fossa. After arising from the first branch of the posterior bundle of the mandibular division of the CN V, it splits into two roots to encircle the middle meningeal artery (open arrow).

**E.** The 3D axial DESS-WE image demonstrates the lingual nerve (dashed arrow) and inferior alveolar nerve (arrowhead). Both nerves run along the inferomedial border of the LP with the lingual nerve more anterior to the inferior alveolar nerve.

3D = three-dimensional, DDSE-WE = double-echo steady-state with water excitation, LP = lateral pterygoid muscle, MP = medial pterygoid muscle

후 구강저에서 혀신경은 설골설근(hyoglossus muscle)의 외측에서 악하선관을 감싸며 설하선 후방에서 혀에 도달한다. 혀신경은 혀의 전방부 2/3, 구강저, 하악잇몸의 점막과 하악치아, 그리고 볼점막의 감각을 지배한다. 혀신경을 동반하는 고삭신경은 안면신경의 정보를 받아 혀의 전방 2/3의 미각과 설하선과 악하선의 타액분비를 담당한다(5, 31, 37). 하치조신경은 대부분 감각신경이나, 운동신경인 하악설골신경(mylohyoid nerve)을 통하여 하악설골근과 이복근전복(anterior belly of digastric muscle)의 운동기능도 담당한다. 이 신경은 저작근공간에서 혀신경의 뒤쪽에서 외익돌근의 하내측 경계를 따라 주행하여 하치조동맥(inferior alveolar artery)과 함께 하악공(mandibular foramen)으로 들어가 하치조관(inferior alveolar canal)을 거친 후 턱끝구멍(mental foramen)을 통하여 하악을 빠져 나와 턱끝신경(mental nerve)이 된다. 하치조신경은 하악치아의 감각에 관여하고 턱끝신경은 턱의 피부와 아랫입술의 감각을 담당한다(5, 31).

경유돌공을 통하여 측두골로부터 두개공 밖으로 나온 안면신경은 후이개분지(posterior auricular branch), 이복근후복분지(nerve to posterior belly of digastric muscle), 경상설골근분지(nerve to stylohyoid muscle) 등 세 개의 분지를 낸 후 경상돌기(styloid process)의 외측, 이복근후복의 내측을 따라 주행한 후 이하선의 뒤쪽 피막을 뚫고 이하선으로 들어온다. 이하선 내에서 안면신경은 하악골지의 뒤쪽에서 측두안면가지(temporofacial division)와 경부안면가지(cervicofacial division)의 두 줄기로 나누어져 외경동맥과 후안면정맥(posterior facial vein)의 외측에 위치하여 다양한 형태로 분지하는데, 일반적으로 전자에서 측두분지(temporal branch), 광대분지(zygomatic branch), 볼분지(buccal branch) 등 세 개의 분지가 기시하고, 후자로부터 하악분지(mandibular branch)와 목분지(cervical branch) 등 2개의 분지가 기시하여 안면 근육의 운동을 담당한다(Fig. 11F, G) (5, 31). 이하선은 이하선 내에서의 안면신경의 주행면을 기준으로 표재엽(superficial lobe)과 심엽(deep lobe)으로 나누어지는데 수술전 이하선 종양과 안면신경의 위치 관계를 파악하는 것은 수술로 인한 안면신경의 손상을 예방하는데 필수적이다(Fig. 11H).

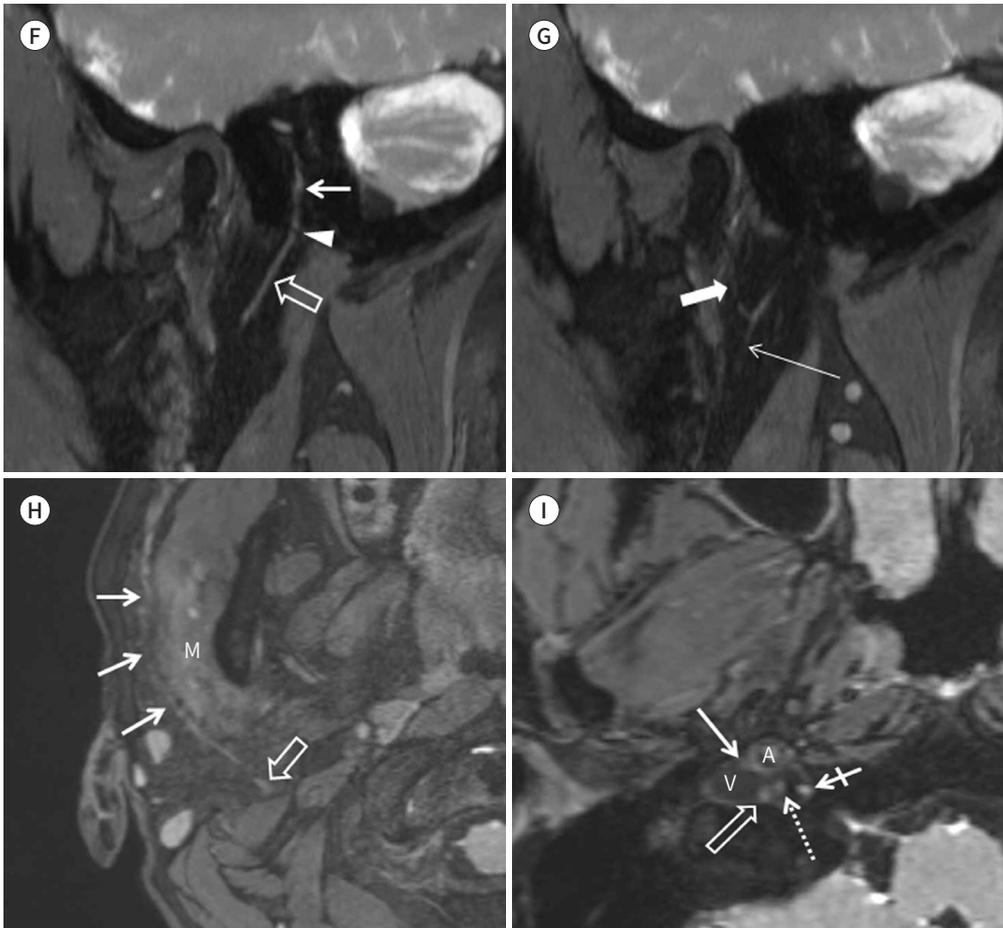
경정맥공으로부터 두개공 밖으로 나온 설인신경, 미주신경, 부신경과 설하신경관으로부터 두개공 밖으로 나온 설하신경은 모두 경동맥집(carotid sheath)으로 진입한 후 각각의 경로를 취한다(Fig. 11I). 설인신경은 경동맥집에서 내경동맥과 경정맥 사이를 지나 내경동맥의 전외측에 위치한다. 경돌인두근(stylopharyngeus muscle)의 하부에서 설인신경은 경돌인두근지(stylopharyngeal branch)와 경동맥동분지(carotid sinus branch)를 내어 각각 경돌인두근의 운동기능과 경동맥소체(carotid body)와 경동맥동의 감각기능을 지배한다. 이후 설인신경은 하/중인두수축근(inferior/middle pharyngeal constrictor) 사이를 통하여 인두로 진입하여 인두분지(pharyngeal branch), 편도분지(tonsillar branch), 혀분지(lingual branch)를 내어 구인두와 구개편도의 감각을 지배하며, 또한 혀의 뒤쪽 1/3의 미각과 일반감각도 담당한다(3, 5, 39).

미주신경은 모든 뇌신경 중 두개공밖구역의 경로가 가장 긴 신경으로 경동맥집으로부터 복부까지 이어져 있다. 경동맥집에서 미주신경은 내경동맥과 경정맥 사이에서 내경동맥의 후방을 따라 아래로 주행하여 좌측에서는 대동맥궁(aortic arch)의 전방, 우측에서는 쇄골하동맥(subclavian artery)의 전방에 위치하며, 이후 더 아래쪽 흉부에서는 좌우의 신경이 식도의 양옆에 위치하게 된다. 하신경절로부터 뇌신경 X는 인두분지와 상후두신경(superior laryngeal nerve)을 분지하고

원위부로 주행한다. 인두분지는 경돌인두근과 구개범장근을 제외한 인두와 연구개의 모든 근육운동을 지배한다. 상후두신경은 하인두와 후두의 감각을 담당하는 내분지(internal branch)와 하인두수축근(inferior pharyngeal constrictor)과 운상갑상근(cricothyroid muscle)의 운동을 지배하는 외분지(external branch)로 나뉘며, 내분지는 갑상설골막(thyrohyoid membrane)의 상외

**Fig. 11.** The cranial nerves in the extraforaminal segment.

**F, G.** The 3D reformatted sagittal DESS-WE images through the parotid gland demonstrate the CN VII in the mastoid facial canal (arrow in **F**) and parotid gland (open arrow in **F**). After leaving the temporal bone through the stylomastoid foramen (arrowhead in **F**), the nerve enters the parotid gland and gives off the upper temporofacial (thick arrow in **G**) and lower cervicofacial (thin arrow in **G**) divisions. **F** is more medial to **G**. **H.** The 3D axial DESS-WE image through the parotid gland demonstrates a poorly defined mass (**M**) in the right parotid gland. The temporofacial division of the CN VII (arrows) runs along the lateral border of the mass, representing that the tumor lies in the deep lobe of the parotid gland. The tumor was proven a low grade mucoepidermoid carcinoma histologically. The open arrow indicates the main trunk of the CN VII.



**I.** The 3D axial DESS-WE image through the carotid sheath just below the jugular foramen demonstrates the lower cranial nerves within the carotid sheath. The CN IX (arrow) lies most anteriorly within the carotid sheath, anterolateral to the internal carotid artery. The CN X (dashed arrow) is the only nerve that never leaves the carotid sheath. It maintains its position within the carotid sheath constantly behind the internal carotid artery and internal jugular vein. The CN XI (open arrow) is located lateral to the CN X within the carotid sheath. It then travels in a lateral direction either anteriorly or posteriorly in relation to the internal jugular vein. The CN XII (crossed arrow) enters the carotid sheath most medially. It then runs laterally behind the CN X and hooks around it.

3D = three-dimensional, A = internal carotid artery, DDSE-WE = double-echo steady-state with water excitation, LP = lateral pterygoid muscle, MP = medial pterygoid muscle, V = internal jugular vein

측에 위치한 구멍을 통하여 후두로 진입한다. 윤상갑상근 이외의 모든 후두 근육을 지배하는 반회 후두신경(recurrent laryngeal nerve)은 미주신경의 원위부에서 분지되는데, 좌측에서는 대동맥궁의 하방, 우측에서는 쇄골하동맥의 하방을 돌아 각각 좌우의 기관식도구(tracheoesophageal groove)에서 위쪽으로 주행한다(3, 5, 39, 40).

부신경은 경동맥집에서 미주신경의 외측에 위치하는데 두개부신경에서 기원한 신경섬유들은 미주신경으로 합해져 연구개와 후두의 근육운동에 관여하고, 척추부신경에서 기원한 신경섬유들은 경정맥의 후방 또는 전방을 지나 경동맥집의 외벽으로부터 분리된 후 제1경추의 횡돌기(transverse process)를 돌아 후외측으로 방향을 틀어 아래로 주행하면서 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid muscle)과 승모근(trapezius)에 운동신경분지를 제공한다(3, 5, 39, 40).

설하신경관을 떠난 설하신경은 미주신경과 부신경의 내측에서 경동맥집으로 진입한 후 미주신경의 후외측을 돌아 이복근후복의 하부에서 내경동맥과 경정맥 사이로 경동맥집을 빠져 나온다. 이후 설하신경은 앞으로 주행하여 경동맥분기부(carotid bifurcation)의 외측과 이복근후복의 내측 사이를 지난 후, 다시 전상방 방향으로 주행하여 악하선의 내측, 설골설근의 외측에서 설하공간(sublingual space)으로 진입하여 모든 혀의 내근(intrinsic muscle)과 구개설골(palatoglossus)을 제외한 경상설근(styloglossus), 설골설근, 이설근(genioglossus) 등 혀의 외근(extrinsic muscle)의 운동을 지배한다. 또한, 설하신경은 제1경추신경을 통하여 갑상설골근(thyrohyoid muscle)과 이설골근(geniohyoid muscle)에도 운동신경을 제공한다(3, 5, 39, 40).

지방조직이 풍부한 일부 두개공박구역에서 뇌신경들은 지방억제기법을 사용하지 않은 고해상도 T1WI에서 고신호강도의 지방으로 둘러싸인 저신호강도의 관모양의 구조물로 보인다(Fig. 12) (3). 그러나, 이와 같이 지방조직이 풍부한 부위에 위치한 뇌신경에 병변이 발생할 경우 조영증강 후 영상은 병변과 주위 지방과의 대조도를 떨어뜨려 병변 관찰을 어렵게 만들 수 있다. 이 경우, 지방억제기법을 사용하면 지방의 신호강도는 소실되는 반면, 병변의 신호강도는 조영증강으로 증가되어 병변의 관찰이 용이해진다(3, 5). 두개공박구역에서 뇌신경들은 T2/T1 값에 연동되어 다양한 조직 성분을 구분할 수 있는 CISS와 같은 balanced SSFP 기법에서도 잘 관찰된다고 알려져 있다(4).

최근에는 T2 대조도를 높이는 reversed fast imaging with steady-state free precession (이하 FISP)과 말초신경과 같이 확산비등방성 구조물을 부각시키는 역할을 하는 diffusion weighted image (이하 DWI)를 조합한 3D reversed FISP with DWI (3D PSIF-DWI) 기법(41, 42)과 높은 T1 대조도로 해부학적 구조물 관찰이 용이한 자유유도붕괴 경사에코(free induction decay gradient echo)를 이용한 FISP과 높은 T2 대조도를 보이는 스핀에코를 이용한 SSFP를 조합한 3D double-echo steady-state with water excitation (3D DESS-WE) 기법(43-45) 등 다양한 선진 MRI 기법이 개발되어 저작근공간에 위치한 CN V<sub>3</sub>나 이하선 내의 안면신경 등 두개공박구역의 말초 뇌신경의 경로를 추적하는데 매우 유용하게 사용되고 있다(Fig. 11B, C, E-I).

## 결론

최근 눈부신 MRI의 기술적 발전에 힘입어 예전에는 관찰하기 어려웠던 뇌신경의 해부학적 영

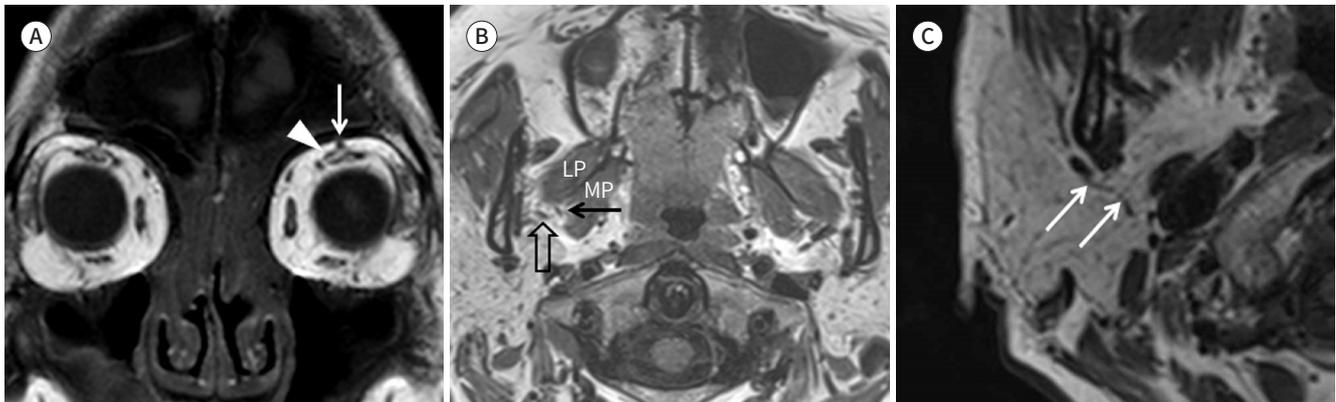
**Fig. 12.** The cranial nerves in the extraforaminal segment on T1-weighted images.

**A.** The coronal T1-weighted image through the orbit shows the frontal nerve (arrow), a branch of the ophthalmic division of the CN V, as a small nodular structure between the orbital roof and levator palpebrae superioris muscle (arrowhead), which is surrounded by the fat in the extraconal space of the orbit.

**B.** The axial T1-weighted image at the level of the infratemporal fossa shows the lingual nerve (arrow) and inferior alveolar nerve (open arrow), which are located posteromedial to the LP, surrounded by fat. Compare this with the three-dimensional double-echo steady-state with water excitation image shown in Fig. 11E.

**C.** The axial T1-weighted image through the parotid gland shows the CN VII (arrows) as a hypointense tubular structure with the background of the hyperintense fatty parenchyma of the parotid gland.

LP = lateral pterygoid muscle, MP = medial pterygoid muscle



상이 가능하게 되었다. 12개의 뇌신경 중 엄밀한 의미의 말초성 뇌신경은 동안신경으로부터 설하 신경까지의 10개의 뇌신경으로, 이 10개의 뇌신경은 뇌간으로부터 두개 밖에 이르는 경로를 따라 비슷한 해부학적 구조를 가지는 구역으로 나누어진다. 이 종설에서 저자들은 MRI를 이용하여 말초성 뇌신경 III-XII의 정상 해부학적 소견을 뇌간으로부터 두개 밖까지 비슷한 구조를 가지는 구역으로 나누어 각 구역별로 설명하였고, 또한 각 구역별로 뇌신경을 관찰하는데 가장 적합한 MRI 기법에 관하여 기술하였다. 뇌신경 질환을 연구하는 다학제 팀의 핵심적 팀원으로서 신경영상의 학 의사들은 뇌신경의 기본적인 기능 및 세밀한 정상 해부학적 소견을 숙지하고, 다양한 MRI 기법 중 뇌신경의 각 구역별 질환에 가장 적절한 기법을 선택하여 MRI의 진단적 가치를 제고할 수 있어야 한다.

### Author Contributions

Conceptualization, K.H.; investigation, all authors; methodology, all authors; project administration, K.H.; resources, K.H., S.M.; supervision, K.H.; validation, all authors; visualization, K.H.; writing—original draft, K.H., S.M.; and writing—review & editing, all authors.

### Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

### REFERENCES

1. Nolte J. *The human brain: an introduction to its functional anatomy*. St. Louis: Mosby-Year Book 1993:154-245
2. Kelly WM. Functional anatomy and cranial neuropathy: neuroimaging perspective. *Neuroimaging Clin N Am* 1993;3:1-45
3. Casselman J, Mermuys K, Delanote J, Ghekiere J, Coenegrachts K. MRI of the cranial nerves—more than meets the eye: technical considerations and advanced anatomy. *Neuroimaging Clin N Am* 2008;18:197-231

4. Blitz AM, Choudhri AF, Chonka ZD, Ilica AT, Macedo LL, Chhabra A, et al. Anatomic considerations, nomenclature, and advanced cross-sectional imaging techniques for visualization of the cranial nerve segments by MR imaging. *Neuroimaging Clin N Am* 2014;24:1-15
5. Kim HJ. Cranial nerve imaging. *Practical Neurology Grand Round* 2014;6:48-74
6. Cha J, Kim E. Cranial nerve. In Kim HJ, Lee JH, eds. *Head and neck radiology*. Seoul: Panmuneducation 2015:203-253
7. Tomii M, Onoue H, Yasue M, Tokudome S, Abe T. Microscopic measurement of the facial nerve root exit zone from central glial myelin to peripheral Schwann cell myelin. *J Neurosurg* 2003;99:121-124
8. Campos-Benitez M, Kaufmann AM. Neurovascular compression findings in hemifacial spasm. *J Neurosurg* 2008;109:416-420
9. Hughes MA, Branstetter BF, Taylor CT, Fakhran S, Delfyett WT, Frederickson AM, et al. MRI findings in patients with a history of failed prior microvascular decompression for hemifacial spasm: how to image and where to look. *AJNR Am J Neuroradiol* 2015;36:768-773
10. Nagae-Poetscher LM, Jiang H, Wakana S, Golay X, Van Zijl PC, Mori S. High-resolution diffusion tensor imaging of the brain stem at 3 T. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004;25:1325-1330
11. Adachi M, Kabasawa H, Kawaguchi E. Depiction of the cranial nerves within the brain stem with use of PROPELLER multishot diffusion-weighted imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008;29:911-912
12. Yamada K, Shiga K, Kizu O, Ito H, Akiyama K, Nakagawa M, et al. Oculomotor nerve palsy evaluated by diffusion-tensor tractography. *Neuroradiology* 2006;48:434-437
13. Kim HJ, Choi CG, Lee JH, Yang PS, Kang S, Lee YS, et al. Brain diffusion tensor MR imaging. *J Korean Radiol Soc* 2005;53:233-243
14. De Ridder D, Møller A, Verlooy J, Cornelissen M, De Ridder L. Is the root entry/exit zone important in microvascular compression syndromes? *Neurosurgery* 2002;51:427-433; discussion 433-434
15. Guclu B, Sindou M, Meyronet D, Streichenberger N, Simon E, Mertens P. Cranial nerve vascular compression syndromes of the trigeminal, facial and vago-glossopharyngeal nerves: comparative anatomical study of the central myelin portion and transitional zone; correlations with incidences of corresponding hyperactive dysfunctional syndromes. *Acta Neurochir (Wien)* 2011;153:2365-2375
16. Haller S, Etienne L, Kövari E, Varoquaux AD, Urbach H, Becker M. Imaging of neurovascular compression syndromes: trigeminal neuralgia, hemifacial spasm, vestibular paroxysmia, and glossopharyngeal neuralgia. *AJNR Am J Neuroradiol* 2016;37:1384-1392
17. Choi BS, Kim JH, Jung C, Hwang JM. High-resolution 3D MR imaging of the trochlear nerve. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010;31:1076-1079
18. Yousry I, Moriggl B, Holtmannspoetter M, Schmid UD, Naidich TP, Yousry TA. Detailed anatomy of the motor and sensory roots of the trigeminal nerve and their neurovascular relationships: a magnetic resonance imaging study. *J Neurosurg* 2004;101:427-434
19. Burmeister HP, Baltzer PA, Dietzel M, Krumbein I, Bitter T, Schrott-Fischer A, et al. Identification of the nervus intermedius using 3T MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011;32:460-464
20. Casselman JW, Kuhweide R, Deimling M, Ampe W, Dehaene I, Meeus L. Constructive interference in steady state-3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. *AJNR Am J Neuroradiol* 1993;14:47-57
21. Everton KL, Rassner UA, Osborn AG, Harnsberger HR. The oculomotor cistern: anatomy and high-resolution imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008;29:1344-1348
22. Blitz AM, Macedo LL, Chonka ZD, Ilica AT, Choudhri AF, Gallia GL, et al. High-resolution CISS MR imaging with and without contrast for evaluation of the upper cranial nerves: segmental anatomy and selected pathologic conditions of the cisternal through extraforaminal segments. *Neuroimaging Clin N Am* 2014;24:17-34
23. Bunch PM, Kelly HR, Zander DA, Curtin HD. Trochlear groove and trochlear cistern: useful anatomic landmarks for identifying the tentorial segment of cranial nerve IV on MRI. *AJNR Am J Neuroradiol* 2017;38:1926-1030
24. Yousry I, Moriggl B, Schmid UD, Naidich TP, Yousry TA. Trigeminal ganglion and its divisions: detailed anatomic MR imaging with contrast-enhanced 3D constructive interference in the steady state sequences. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005;26:1128-1135
25. Moon WJ, Roh HG, Chung EC. Detailed MR imaging anatomy of the cisternal segments of the glossopharyngeal, vagus, and spinal accessory nerves in the posterior fossa: the use of 3D balanced fast-field echo MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:1116-1120
26. Ono K, Arai H, Endo T, Tsunoda A, Sato K, Sakai T, et al. Detailed MR imaging anatomy of the abducent

- nerve: evagination of CSF into Dorello canal. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004;25:623-626
27. Noble DJ, Scoffings D, Ajithkumar T, Williams MV, Jefferies SJ. Fast imaging employing steady-state acquisition (FIESTA) MRI to investigate cerebrospinal fluid (CSF) within dural reflections of posterior fossa cranial nerves. *Br J Radiol* 2016;89:20160392
  28. Blitz AM, Aygun N, Herzka DA, Ishii M, Gallia GL. High resolution three-dimensional MR imaging of the skull base: compartments, boundaries, and critical structures. *Radiol Clin North Am* 2017;55:17-30
  29. Linn J, Peters F, Lummel N, Schankin C, Rachinger W, Brueckmann H, et al. Detailed imaging of the normal anatomy and pathologic conditions of the cavernous region at 3 Tesla using a contrast-enhanced MR angiography. *Neuroradiology* 2011;53:947-954
  30. Yagi A, Sato N, Taketomi A, Nakajima T, Morita H, Koyama Y, et al. Normal cranial nerves in the cavernous sinuses: contrast-enhanced three-dimensional constructive interference in the steady state MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005;26:946-950
  31. Maroldi R, Farina D, Borghesi A, Marconi A, Gatti E. Perineural tumor spread. *Neuroimaging Clin N Am* 2008;18:413-429, xi
  32. Ginsberg LE, De Monte F, Gillenwater AM. Greater superficial petrosal nerve: anatomy and MR findings in perineural tumor spread. *AJNR Am J Neuroradiol* 1996;17:389-393
  33. Gebarski SS, Telian SA, Niparko JK. Enhancement along the normal facial nerve in the facial canal: MR imaging and anatomic correlation. *Radiology* 1992;183:391-394
  34. Kim HJ, Weon YC, Kim YK, Lee JY. *Skull base*. In Kim HJ, Lee JH, eds. *Head and neck radiology*. Seoul: Panmuneducation 2015:145-201
  35. Linn J, Peters F, Moriggl B, Naidich TP, Brückmann H, Yousry I. The jugular foramen: imaging strategy and detailed anatomy at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:34-41
  36. Ong CK, Fook-Hin Chong V. Imaging of jugular foramen. *Neuroimaging Clin N Am* 2009;19:469-482
  37. Ginsberg LE. *Perineural tumor spread associated with head and neck malignancies*. In Som PM, Curtin HD, eds. *Head and neck imaging*. 5th ed. St.Louis: Mosby 2011:1022-1049
  38. Schmalfuss IM, Tart RP, Mukherji S, Mancuso AA. Perineural tumor spread along the auriculotemporal nerve. *AJNR Am J Neuroradiol* 2002;23:303-311
  39. Soldatos T, Batra K, Blitz AM, Chhabra A. Lower cranial nerves. *Neuroimaging Clin N Am* 2014;24:35-47
  40. Policeni BA, Smoker WR. Pathologic conditions of the lower cranial nerves IX, X, XI, and XII. *Neuroimaging Clin N Am* 2008;18:347-368, xi
  41. Naganawa S, Ishihara S, Satake H, Kawai H, Sone M, Nakashima T. Simultaneous three-dimensional visualization of the intra-parotid facial nerve and parotid duct using a three-dimensional reversed FISP sequence with diffusion weighting. *Magn Reson Med Sci* 2010;9:153-158
  42. Chu J, Zhou Z, Hong G, Guan J, Li S, Rao L, et al. High-resolution MRI of the intraparotid facial nerve based on a microsurface coil and a 3D reversed fast imaging with steady-state precession DWI sequence at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol* 2013;34:1643-1648
  43. Qin Y, Zhang J, Li P, Wang Y. 3D double-echo steady-state with water excitation MR imaging of the intraparotid facial nerve at 1.5T: a pilot study. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011;32:1167-1172
  44. Fujii H, Fujita A, Yang A, Kanazawa H, Buch K, Sakai O, et al. Visualization of the peripheral branches of the mandibular division of the trigeminal nerve on 3D double-echo steady-state with water excitation sequence. *AJNR Am J Neuroradiol* 2015;36:1333-1337
  45. Fujii H, Fujita A, Kanazawa H, Sung E, Sakai O, Sugimoto H. Localization of parotid gland tumors in relation to the intraparotid facial nerve on 3D double-echo steady-state with water excitation sequence. *AJNR Am J Neuroradiol* 2019;40:1037-1042

## 뇌신경 III-XII의 정상 자기공명영상 소견

김형진\* · 성민정 · 김이경

복잡한 해부학적 구조와 기능 때문에 뇌신경 질환의 신경영상검사는 항상 어려운 과제이다. 최근 자기공명영상(이하 MRI) 기법의 발달로 많은 경우에서 뇌신경 질환의 원인이 규명되고 있으며, 신경영상의학 의사들은 다학제 팀의 핵심적 팀원으로서 다양한 뇌신경 질환의 원활한 진단을 위하여 MRI에서 관찰되는 뇌신경의 세밀한 해부학적 구조를 잘 알아야 한다. 이 종설에서는 말초성 뇌신경 III-XII에 대해 뇌간으로부터 두개 밖까지 해부학적으로 비슷한 구조를 가지는 구역별로 분류하여 각 구역에서 보이는 뇌신경의 정상 해부학 및 MRI 소견을 설명하고자 한다. 또한 각 구역에서 가장 적합한 MRI 기법에 관하여도 기술하고자 한다.

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 영상의학과