

흰쥐 뇌줄기의 3차원영상과 가상해부 프로그램 만들기

아주대학교 의과대학 해부학교실, ¹서울대학교 의과대학 해부학교실,

²아주대학교 정보통신대학 정보 및 컴퓨터공학부

정민석 · 박경한¹ · 김민구² · 박승규²

Manufacture of Three-Dimensional Image and Virtual Dissection Program of the Rat Brain Stem

Min Suk Chung, Kyeong Han Park¹, Min Koo Kim² and Seung Kyu Park²

Department of Anatomy, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

¹Department of Anatomy, Seoul National University Medical College, Seoul, Korea

²Division of Information and Computer Engineering,

Ajou University College of Information and Communication, Suwon, Korea

Three-dimensional (3D) structures of nuclei and tracts in the rat brain stem are too complex to be understood by books describing primarily two-dimensional (2D) pictures. The purpose of this study was to prepare a new educational tool for understanding 3D structures of the rat brain stem. We attempted to manufacture a virtual dissection program on which 3D images of the rat brain stem could be sectioned or rotated.

A brain stem, extracted from a Sprague-Dawley rat, was serially sectioned into 135 specimens using a Cryocut. Each specimen was stained with osmium, printed using an enlarger, and inputted to a computer using a scanner. 2D images of rat brain stem were aligned on the alignment program. In all 2D images, 33 nuclei and tracts of the rat brain stem were manually drawn. 3D images of the brain stem were reconstructed through a volume-based rendering of the 2D images. Using the 3D images of the rat brain stem as the main feature, a virtual dissection program was manufactured. Dissection functions such as sectioning 3D images of the rat brain stem to show its plane and rotating 3D images of the selected nuclei and tracts were established.

Examples of understanding 3D structures of the rat brain stem using the virtual dissection program were as follows.

1) Gracile nucleus looked like sperm, whose head faced cranially; and tail faced caudally. Cuneate nucleus looked like spoon, and the sperm head seemed to be put in the spoon.

2) Dorsal motor nucleus of vagus nerve was intervened between solitary nucleus and hypoglossal nucleus. These three structures of the bilateral sides surrounded the central canal.

3) Lateral lemniscus was flat as if pressed by the bilateral sides. The cranial part of lateral lemniscus was narrow and faced dorsally; the caudal part of lateral lemniscus was surrounded by a horseshoe-shaped middle cerebellar peduncle.

The virtual dissection program of the rat brain stem was helpful in understanding 3D structures of nuclei and tracts in the rat brain stem. Next plan of this series of studies is to manufacture a virtual dissection program of the human brain stem. (Ajou Med J 1999; 4(1): 15~24)

Key Words: *Virtual dissection, Three-dimensional image, Rat, Brain stem*

서 론

뇌줄기(brain stem)에는 많은 신경핵(nucleus)과 신경로(tract)가 밀집되어 있어서 뇌줄기가 다치면 많은 증상이 생긴다. 또한 뇌줄기에는 호흡 운동과 심장혈관 운동의 중추가 있어서 뇌줄기가 다치면 목숨을 잃기도 한다.¹ 신경과학 분야에서 뇌줄기를 연구할 때에는 사람을 갖고 실험할 수 없기 때문에 흰쥐(rat)를 갖고 실험하며, 따라서 흰쥐 뇌줄기가 입체적으로 어떻게 생겼는지 올바르게 알 필요가 있다. 흰쥐 뇌줄기에 있는 신경핵과 신경로는 각각의 위치와 생김새가 남다르고 다른 구조와의 위치 관계가 복잡하기 때문에 입체 생김새를 깨닫는 것이 매우 어렵다. 흰쥐 뇌줄기의 그림책에는 절단면만 있기 때문에 입체 생김새를 깨닫기 위해서 많이 노력해야 하며, 아무리 많이 노력해도 입체 생김새를 오해하기가 쉽다.² 이 연구의 목적은 흰쥐 뇌줄기의 입체 생김새를 쉽게 깨달을 수 있는 새로운 교육 자료를 마련하는 것이다. 이것을 위해서 흰쥐 뇌줄기를 연속절단하고 컴퓨터에 입력한 다음에 흰쥐 뇌줄기의 3차원영상을 잘라보거나 돌려볼 수 있는 가상해부 풀그림을 만들었다.

재료 및 방법

Sprague-Dawley 계통의 흰쥐(수컷, 250 gm) 뇌줄기를 재료로 썼다. 흰쥐를 ethyl ether로 마취시킨 다음에 원심실로 생리식염수를 관류해서 피를 없앴고, paraformaldehyde(4%)를 관류해서 고정하였다. 흰쥐에서 뇌를 꺼낸 다음에 뇌줄기만을 잘라냈다(Fig. 1). 이 연구에서 사

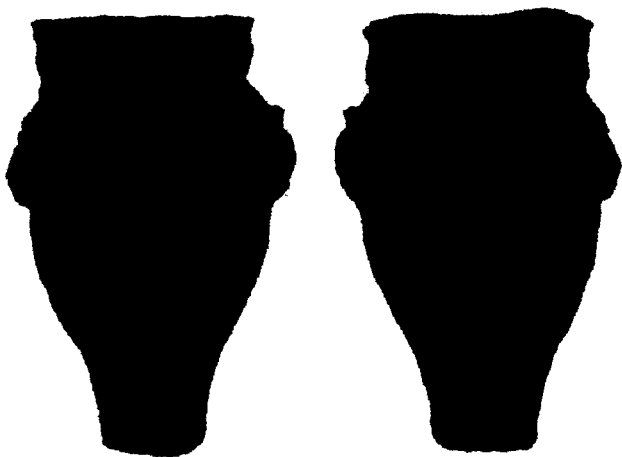


Fig. 1. Ventral view (left) and dorsal view (right) of the brain stem extracted from the rat.

용한 뇌줄기는 흑색질(substantia nigra)의 머리쪽 끝부터 피라미트교차(pyramidal decussation)의 꼬리쪽 끝까지로 한정하였다.

잘라낸 뇌줄기를 다음과 같이 처리해서 블록을 만들었다. 뇌줄기를 24시간 동안 paraformaldehyde(4%)에 담가서 고정한 다음에 24시간 동안 흐르는 물에 담가서 고정액을 없앴다. 뇌줄기를 isopentane으로 열리고 O.C.T. 복합체로 포매해서 블록을 만들었다.

뇌줄기 블록을 연속절단하였다. 뇌줄기 블록을 동결절편기(CRYOCUT 1800)로 연속절단하되, 절단 방향은 가로였으며 절단 두께는 20 μm였다. 뇌줄기의 연속절단표본 중에서 일정한 개수마다 1개 추리는 것을 되풀이하여 135개의 연속절단표본을 추렸다.

뇌줄기의 절단표본을 염색하였다. 뇌줄기의 절단표본을 slide glass에 놓은 다음에 신경핵과 신경로가 뚜렷해지도록 OsO₄(2%)로 염색하였다(Fig. 2). Xylene으로 투명 처리를 하였고, Canada balsam과 cover glass로 봉입하되, 봉입할 때에는 기포가 생기지 않도록 조심하였다.

뇌줄기의 절단표본을 확대 인화한 다음에 컴퓨터에 입력하였다. 뇌줄기의 절단표본을 흑백 인화지(17.4 cm × 10.9 cm)에 인화하되, 인화할 때에는 확대기를 써서

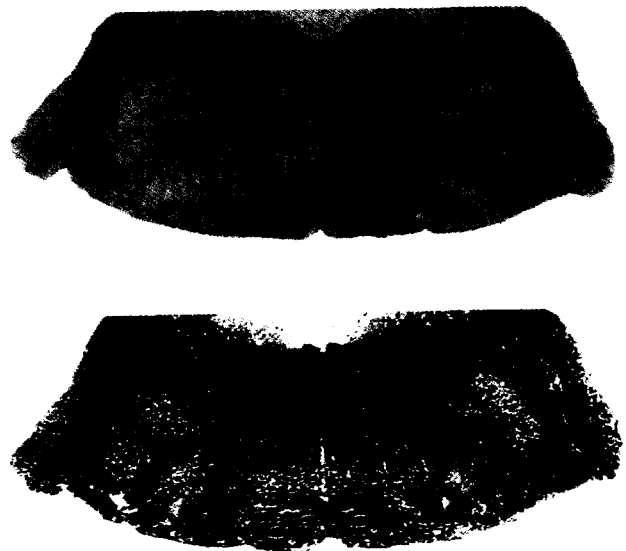


Fig. 2. Section of the rat brain stem (above) and that stained by 2% OsO₄ (below).

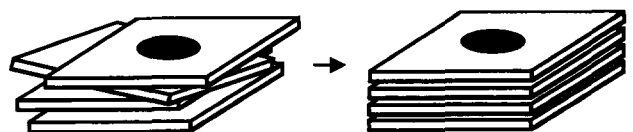


Fig. 3. Picture showing necessity of aligning 2-D images of the rat brain stem.

확대 비율이 일정하게 하였다. 또한 확대기의 조리개 크기와 노출 시간을 알맞게 해서 신경핵과 신경로가 잘 구별되도록 하였다. 뇌줄기의 절단표본이 찍힌 인화지를 스캐너로 컴퓨터에 입력하였다. 컴퓨터에 입력할 때에는 해상도를 450×300으로 하였고, 빛깔을 gray scale로 하였다.

컴퓨터에 입력된 뇌줄기의 2차원영상은 서로 어긋났기 때문에 이것을 정렬할 필요가 있었다(Fig. 3).

뇌줄기의 2차원영상을 정렬하기 위해서 정렬 프로그램을 IDL 언어(version 5.0)로 만들었으며, 정렬 프로그램의

쓰임새는 다음과 같았다. 이어진 두 개의 2차원영상을 부르면 각각의 테두리가 다른 빛깔로 나타났다. 하나의 2차원영상을 옮기고 돌려서 다른 하나의 2차원영상에 맞출 수 있었다. 2차원영상을 모두 쌓아서 세로로 자른 두 개의 절단면을 보고 정렬이 제대로 되었는지 때마다 확인할 수 있었다(Fig. 4). 이 정렬 프로그램을 써서 뇌줄기의 2차원영상을 모두 정렬하였다.

뇌줄기의 2차원영상에서 구역화할 구조를 33개로 결정하였으며, 이것은 크게 네 가지로 나눌 수 있었다. 첫째는 뇌줄기 전체와 뇌실이었고, 둘째는 척수신경과

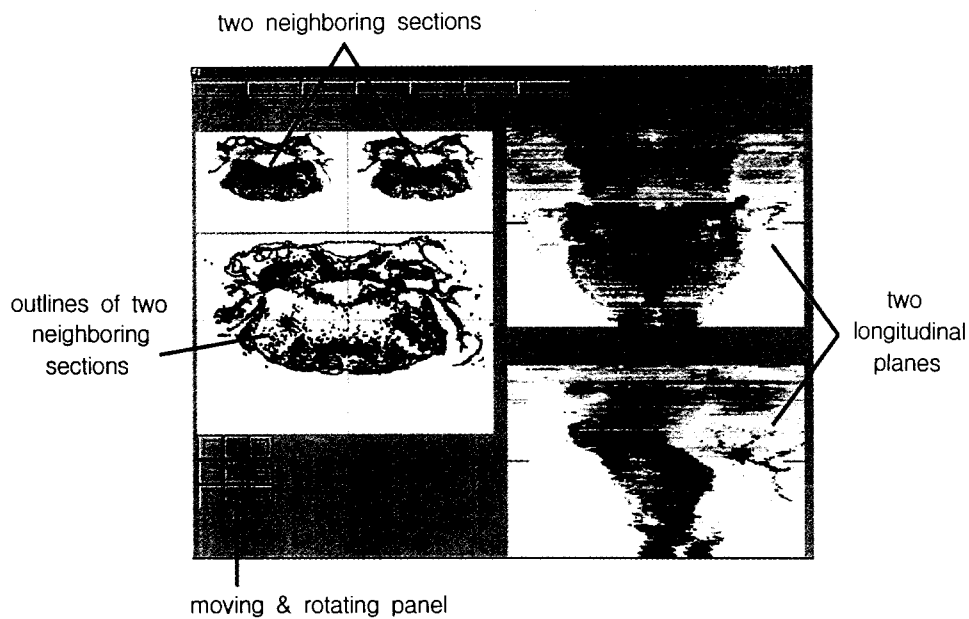


Fig. 4. Feature of the program for aligning 2-D images of the rat brain stem.

Table 1. Segmented components of the rat brain stem

Classification	Components
Whole, ventricle	Whole brain stem, Mesencephalic aqueduct & 4th ventricle & central canal
Spinal nerve related	Gracile nucleus, Cuneate nucleus, Medial lemniscus, Corticospinal tract
Cranial nerve related	Oculomotor nucleus, Trigeminal mesencephalic nucleus, Pontine & spinal nucleus of trigeminal nerve, Trigeminothalamic tract, Trigeminal motor nucleus, Abducent nucleus, Facial nucleus, Medial vestibular nucleus, Superior vestibular nucleus, Lateral vestibular nucleus, Ventral cochlear nucleus, Dorsal cochlear nucleus, Lateral lemniscus, Dorsal motor nucleus of vagus nerve, Solitary nucleus & tract, Nucleus ambiguus, Hypoglossal nucleus
Others	Red nucleus, Periaqueductal gray matter, Compact part of substantia nigra, Reticular part of substantia nigra, Superior cerebellar peduncle, Middle cerebellar peduncle, Inferior cerebellar peduncle, Medial longitudinal fascicle, Inferior olivary nucleus, Locus caeruleus

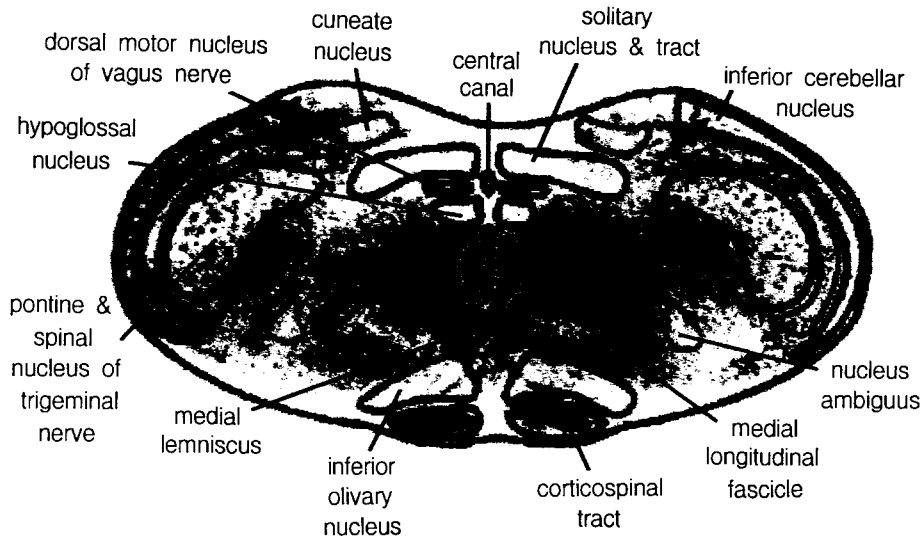


Fig. 5. Segmentation of the components of the rat brain stem.

관계 있는 신경핵, 신경로였고, 셋째는 뇌신경과 관계 있는 신경핵, 신경로였고, 넷째는 나머지 신경핵, 신경로였다. 척수신경과 관계 있는 신경핵, 신경로는 4개로서 널판다발핵, 쇄기다발핵, 안쪽섬유띠, 길질척수로가 속했다. 뇌신경과 관계 있는 신경핵, 신경로는 17개로서 눈돌림신경핵, 삼차신경중간뇌핵, 삼차신경다리뇌핵과 삼차신경척수핵, 삼차신경척수로, 삼차신경운동핵, 갓돌림신경핵, 얼굴신경핵, 안쪽안뜯핵, 위안뜯핵, 가쪽안뜯핵, 배쪽달팽이핵, 등쪽달팽이핵, 가쪽섬유띠, 미주신경등쪽핵, 고립로핵과 고립로, 의문핵, 허밑신경핵이 속했다. 나머지 신경핵, 신경로는 10개로서 적색핵, 수도관주위회색질, 흑색질의 치밀부분, 흑색질의 그물부분, 위소뇌다리, 중간소뇌다리, 아래소뇌다리, 안쪽세로다발, 아래올리브핵, 청색반점이 속했다(Table 1).

뇌줄기의 구조를 수동으로 구역화하였다. 뇌줄기의 2차원영상을 CorelDRAW 폴그림(version 6.0)으로 옮긴 다음에 구조의 테두리를 마우스로 직접 그렸다. 이 때 각 구조마다 특정한 빛깔로 그려서 다른 구조와 쉽게 구별되게 하였다(Fig. 5).

뇌줄기의 2차원영상을 모두 쌓아서 3차원영상으로 재구성하였다. 3차원영상의 재구성은 volume-based rendering 방법을 따랐다. 뇌줄기의 실제 영상도 3차원영상으로 재구성하였고, 뇌줄기의 구역화 영상도 3차원영상으로 재구성하였다(Fig. 6).

뇌줄기의 3차원영상을 바탕으로 가상해부 폴그림을 만들었다. 뇌줄기의 가상해부 폴그림은 IDL 언어(version 5.0)로 만들었으며, 개인용 컴퓨터의 Windows 환경에서 쓸 수 있게 만들었다.



Fig. 6. Three-dimensional image of the rat brain stem.

결 과

흰쥐 뇌줄기의 가상해부 폴그림은 다음과 같은 쓰임새를 갖고 있었다. 뇌줄기를 내키는 높이에서 가로절단하면 이 높이의 가로절단면이 나타났다(Fig. 7).

뇌줄기를 세로절단하면 세로절단면이 나타났다(Fig. 8). 뇌줄기를 비스듬한 방향으로 절단하면 이 방향의 절



Fig. 7. Transverse section of the rat brain stem (left) and its plane (right).

단면이 나타났다. 이 때 구역화 절단면이 나타나게 할 수도 있었고, 구역화하지 않은 실제 절단면이 나타나게 할 수도 있었다(Fig. 9).

뇌줄기의 33개 구조 중에서 내키는 구조만 꺼내서 돌려볼 수 있었다. 이 때 뇌줄기의 표면은 반투명하게 만들어서 속에 있는 구조가 어디에 있는지 쉽게 알 수 있게 하였다(Fig. 10).

흰쥐 뇌줄기의 가상해부 풀그림을 써서 뇌줄기의 생김새를 살펴보았다. 이 연구에서 만든 가상해부 풀그림의 중요한 쓰임새는 뇌줄기의 3차원영상을 잘라보거나 돌려보는 것이었다. 이 쓰임새를 써서 흰쥐 뇌줄기에 있는 신경핵과 신경로의 입체 생김새를 살펴본 결과 중에서 몇 가지 보기를 들면 다음과 같았다.

널판다발핵(gracile nucleus)은 올챙이처럼 생겼으며 올챙이 머리는 머리쪽을 향했다. 췌기다발핵(cuneate nucleus)은 손가락처럼 생겼으며 손가락은 올챙이 머리를 담을 것처럼 보였다(Fig. 11).

미주신경등쪽핵(dorsal motor nucleus of vagus nerve)은 고립로를 포함한 고립로핵(solitary nucleus & tract)과 혀밑신경핵(hypoglossal nucleus) 사이에 있었으며, 이 세 구조는 양쪽에서 중심관(central canal)을 둘러싸고 있었다(Fig. 12).

가쪽섬유띠(lateral lemniscus)는 양옆이 눌린 납작한 모양이었으며, 가쪽섬유띠의 머리쪽 부분은 좁아지면서 등쪽을 향했고 꼬리쪽 부분은 말굽처럼 흰 중간소뇌다리(middle cerebellar peduncle)에 싸여 있었다(Fig. 13).

고 찰

뇌줄기는 임상에서 매우 중요한데, 이것은 뇌줄기가 다치면 많은 증상이 생기기 때문이다. 뇌줄기에는 뇌신경, 척수신경과 관계 있는 많은 운동경로, 감각경로가 지나갈 뿐만 아니라 의식의 정도를 결정하는 그물체(reticular formation)도 있고, 호흡 운동과 심장혈관 운동의 중추도 있다. 따라서 뇌줄기는 조금만 다쳐도 여러 뚜렷한 증상이 생길 뿐만 아니라 목숨을 잃기도 한다.¹

뇌줄기에 생긴 질병을 올바르게 진단하고 치료하려면 뇌줄기의 입체 생김새를 낱알이 알아야 한다. 뇌줄기의 생김새를 알아야 하는 경우를 보기로 들면 다음과 같다. 첫째로 자기공명영상으로 뇌줄기를 진단할 때에는 뇌줄기의 테두리, 적색핵(red nucleus), 흑색질(substantia nigra), 아래올리브핵(inferior olivary nucleus) 등을 지표로 삼아서 주변의 어떤 신경핵과 신경로가 손상 받았는지 알아야 한다.² 둘째로 뇌줄기 주변의 입체공간외과수술을 할 때에는 전도자를 올바른 위치에서 올바른 각도와 길이로 넣음으로써 병소와 관계없는 구조, 특히 뇌줄기의 중요한 구조가 다치지 않도록 해야 한다.³ 셋째로 청각장애를 치료하기 위해서 중앙전기청각 보조기를 달팽이핵(cochlear nucleus)에 이식할 때에는 보조기를 안뜰핵(vestibular nucleus)에 잘못 이식해서 어지러움을 일으키거나, 척수시상로(spinothalamic tract)나 삼차신경시상로(trigeminothalamic tract)에 잘못 이식해서 갑

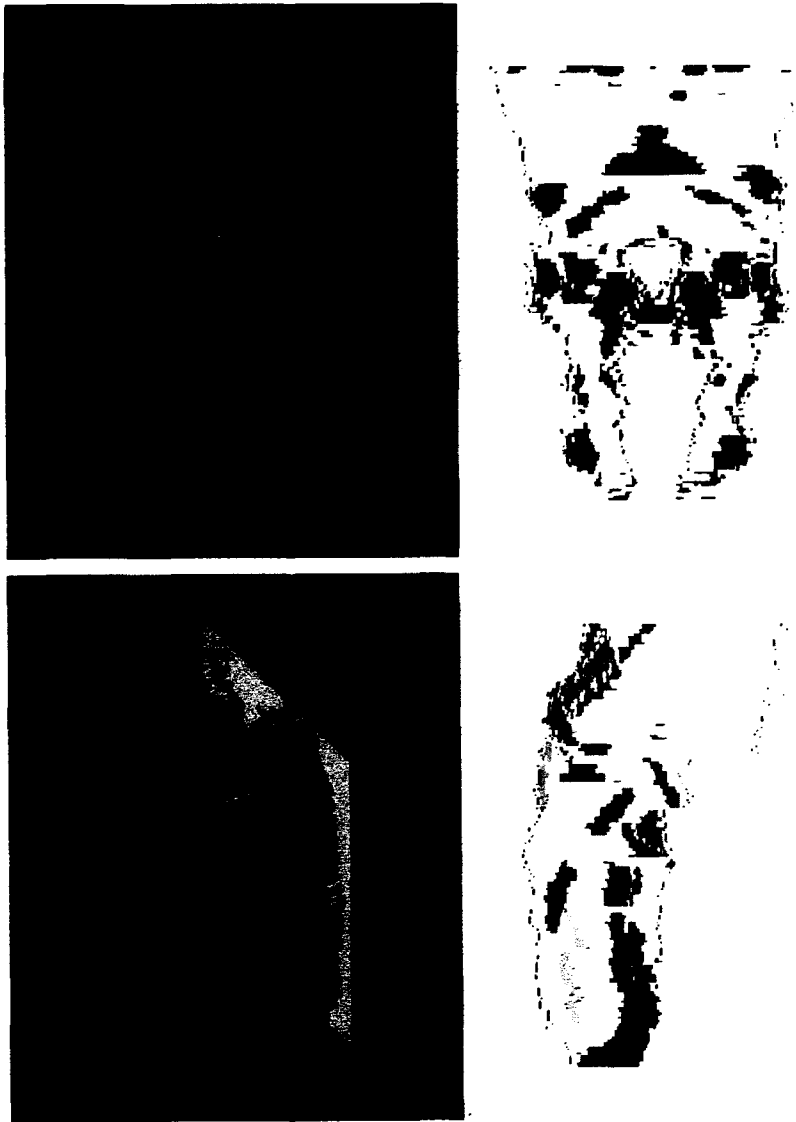


Fig. 8. Longitudinal sections of the rat brain stem (left) and their planes (right).

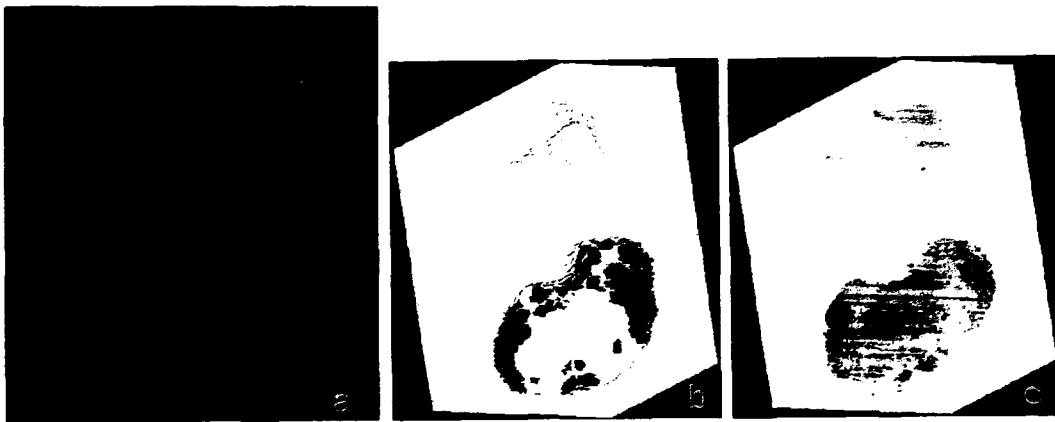


Fig. 9. Free angle section of the rat brain stem (a) and its plane showing segmented image (b) and that showing raw image (c).

각의 이상을 일으키지 않도록 해야 한다.^{5~8} 이와 같이 뇌줄기의 질병을 올바르게 진단하고 부작용 없이 치료하기 위해서는 뇌줄기의 입체 생김새를 알아야 한다.

사람 뇌줄기뿐만 아니라 흰쥐 뇌줄기도 어떻게 생겼는지 알아야 한다. 신경과학 분야에서 뇌줄기를 연구할 때에는 사람을 갖고 실험할 수 없기 때문에 흰쥐를 갖고 실험한다. 흰쥐는 원숭이, 고양이, 토끼 등의 다른 실험동물보다 작아서 다루기 쉽고, 동물보호단체의 압력이 적고, 감염이 잘 안되고, 순종을 만들기 쉽기 때문에 많이 쓰이고 있다.² 흰쥐 뇌줄기를 갖고 실험한 결과를 올바르게 풀이하기 위해서는 흰쥐 뇌줄기의 입

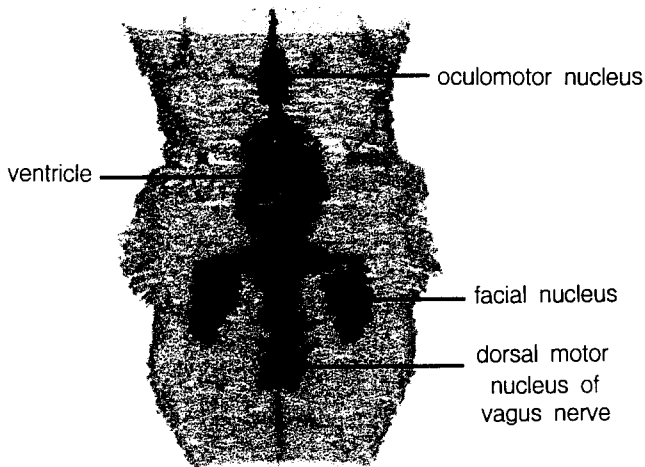


Fig. 10. Three-dimensional image of the selected components of the rat brain stem.

체 생김새를 낱알이 알아야 한다.

흰쥐 뇌줄기에 있는 신경핵과 신경로의 입체 생김새를 깨닫는 것은 매우 어렵다. 사람 뇌줄기와 마찬가지로 흰쥐 뇌줄기도 속에 있는 신경핵과 신경로의 위치와 생김새가 남다르고 다른 구조와의 위치 관계가 복잡하다.²

흰쥐 뇌줄기의 입체 생김새를 깨닫기 위해서 다음과 같은 방법이 개발되었다.

첫째 방법은 흰쥐 뇌줄기의 그림책을 보는 것이다. 그림책에는 흰쥐 뇌줄기의 절단면이 순서대로 나오고, 각각의 절단면에서 보이는 신경핵과 신경로가 풀이되어 있다. 신경과학자는 이 그림책을 보고 흰쥐 뇌줄기의 생김새를 깨달아 왔다. 그런데 그림책에는 절단면만 나오기 때문에 입체 생김새를 깨닫기 위해서 많이 노력해야 하며, 아무리 많이 노력해도 입체 생김새를 오해하기가 쉽다.² 요즘에는 흰쥐 뇌줄기의 생김새를 깨닫는 데 도움 되는 컴퓨터 풀그림이 나왔는데, 이 풀그림은 거의 다 2차원영상으로 이루어져서 그림책의 한계를 벗어나지 못하고 있다.⁹

둘째 방법은 흰쥐 뇌줄기를 해부하는 것이다. 생명과학 분야에서 입체 생김새를 깨닫기 위한 가장 좋은 방법은 직접 해부하는 것이며, 흰쥐 뇌줄기의 길이 어떻게 생겼는지 깨달으려면 해부하면 된다. 그러나 흰쥐 뇌줄기의 속까지는 해부할 수 없기 때문에 뇌줄기의 신경핵과 신경로가 어떻게 생겼는지 깨달으려면 다른 방법을 써야 한다.

셋째 방법은 흰쥐 뇌줄기의 모형을 만들어서 쓰는

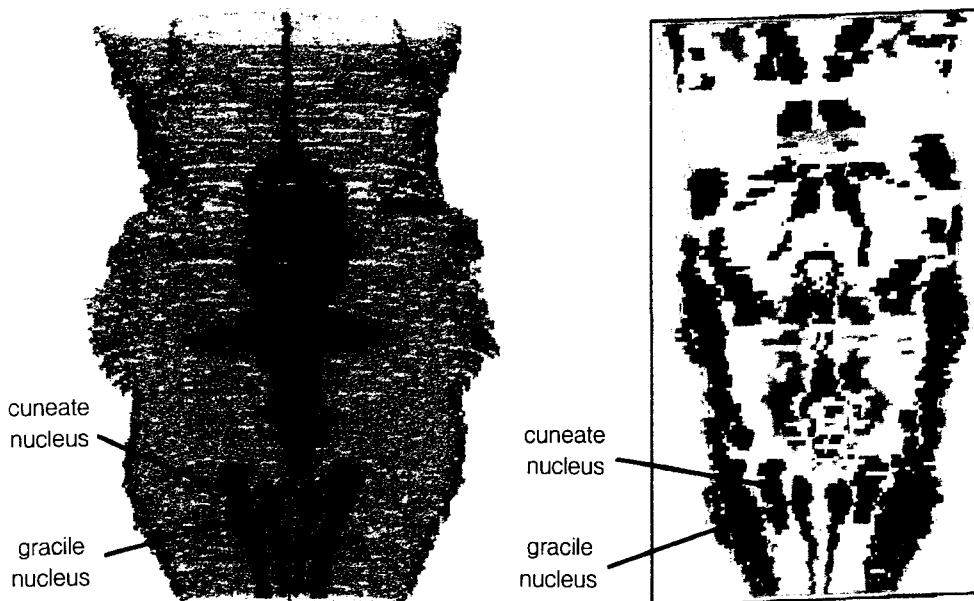


Fig. 11. Three-dimensional image (left) and sectioned plane (right) showing cuneate nucleus and gracile nucleus of the rat brain stem.

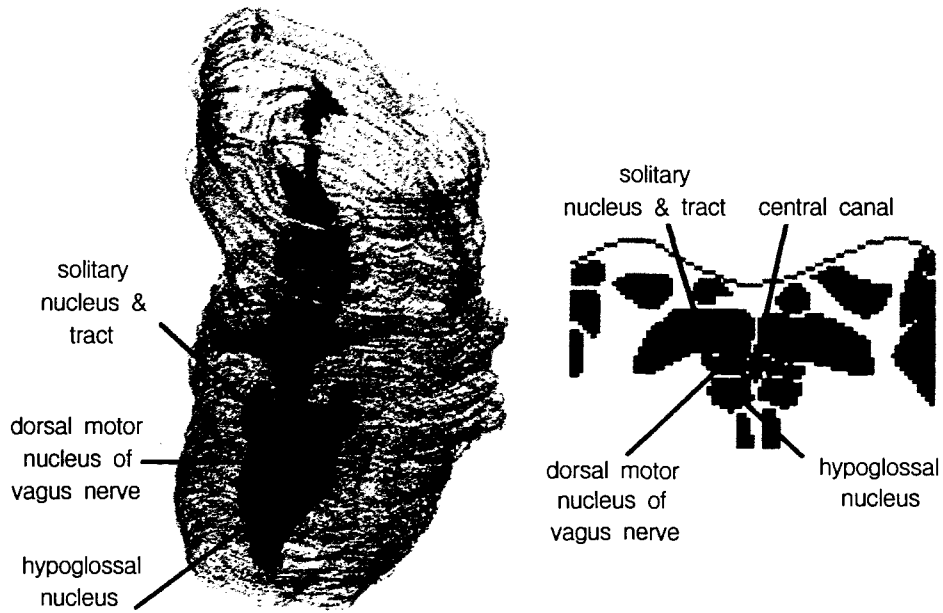


Fig. 12. Three-dimensional image (left) and sectioned plane (right) showing solitary nucleus & tract, dorsal motor nucleus of vagus nerve, hypoglossal nucleus, and central canal of the rat brain stem.

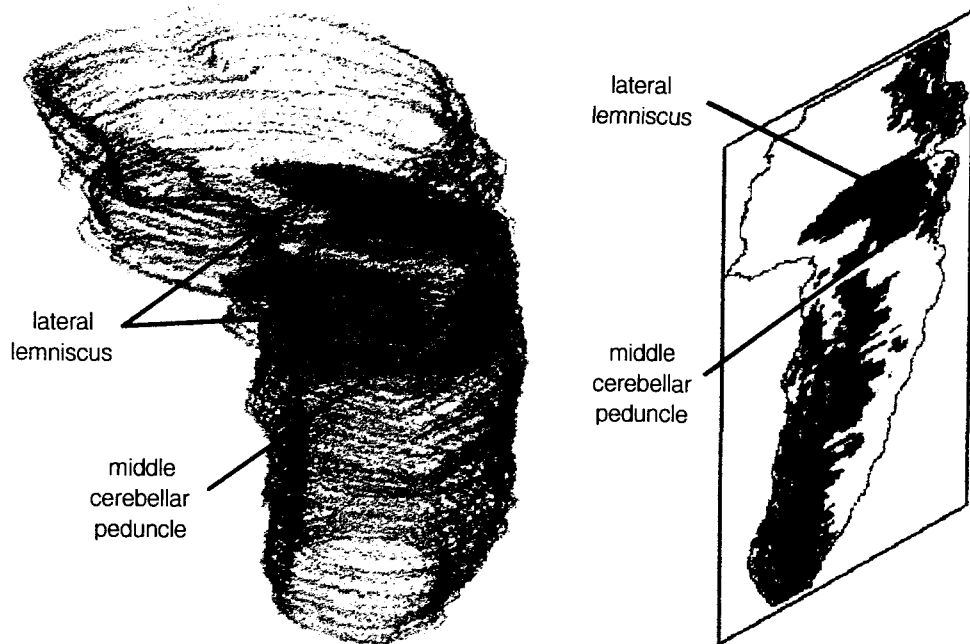


Fig. 13. Three-dimensional image (left) and sectioned plane (right) showing lateral lemniscus and middle cerebellar peduncle of the rat brain stem.

것이다. 이러한 모형은 만들기 위해서 연속절단표본 사진을 아크릴 판에 붙여서 계속 쌓은 다음에 polyester resin으로 표면을 매끈하게 만드는 방법 등이 개발되었다. 그런데 이 방법으로 만든 모형은 세밀한 구조를 나타내지 못하고, 마음대로 잘라볼 수 없다는 한계가

있다.

넷째 방법은 흰쥐 뇌줄기 그림을 보고 입체감을 갖게 하는 풀그림을 만들어서 쓰는 것이다. 평면 그림을 보고 입체감을 갖게 하기 위해서 다음과 같은 방법이 개발되었다. 떠는거울화상 방법은 여러 개의 연속절단

표본에서 내키는 구조를 동시에 나타냄으로써 입체감을 갖게 하는 것이다. 거짓 3차원투시 방법은 투사기하학의 원리에 따라서 먼 구조를 작게 나타내고 가까운 구조를 크게 나타냄으로써 입체감을 갖게 하는 것이다.^{10,11} 입체안경 방법은 입체사진기로 찍은 두 장의 그림을 입체안경으로 봄으로써 입체감을 갖게 하는 것이다. 이와 같이 입체감을 갖게 하는 방법은 3차원영상이 아닌 평면 그림을 쓰기 때문에 잘라보거나 돌려볼 수 없다는 한계가 있다.

다섯째 방법은 흰쥐 뇌줄기의 3차원영상과 가상해부 풀그림을 만들어서 쓰는 것이다. 뇌줄기의 3차원영상을 잘라보거나 돌려볼 수 있는 가상해부 풀그림을 쓰면 뇌줄기의 입체 생김새를 쉽게 깨달을 수 있다. 생명과학 분야에서 3차원영상과 가상해부 풀그림을 만드는 것은 컴퓨터의 발전과 함께 현실화되었다. 이제까지 만들어진 뇌줄기의 3차원영상은 사람 뇌줄기에 있는 달팽이핵(cochlear nucleus)의 3차원영상^{7,8,12}과 흰쥐 중간뇌(midbrain)에 있는 도파민성 신경원의 3차원영상¹³ 등이 있다. 그러나 흰쥐 뇌줄기의 모든 구조를 3차원영상으로 만들고, 이것을 잘라보거나 돌려볼 수 있는 가상해부 풀그림은 만들어지지 않았기 때문에 이 연구를 하게 되었다.

이 연구에서는 뇌줄기의 3차원 영상과 가상해부 풀그림을 만들면서 다음과 같은 문제를 풀어야 했다.

첫째로 흰쥐 뇌줄기를 올바르게 연속절단하고 염색해야 했다. 흰쥐 뇌줄기의 3차원영상을 올바르게 만들기 위해서는 연속절단할 때 절단면이 일직면이고, 절단면끼리 수평하고, 절단면 사이의 두께가 한결같아야 했다. 또한 뇌줄기의 신경핵과 신경로를 구역화하기 위해서는 올바르게 염색해야 했다(Fig. 2). 이 연구에서 뇌줄기를 두껍게(20 μm) 연속절단한 이유는 절단표본이 접히지 않게 하기 위한 것과 염색이 잘 되게 하기 위한 것이었다.⁵

둘째로 2차원 영상을 정렬해야 했다. 컴퓨터에 입력된 뇌줄기의 2차원영상은 서로 어긋났기 때문에 정렬해야 했으며(Fig. 3), 이것을 위해서 정렬 풀그림을 만들었다(Fig. 4). 이 정렬 풀그림은 뇌줄기뿐만 아니라 다른 조직학 구조의 3차원영상을 만들 때에도 쓸 수 있다.

연속절단표본을 정렬하기 위해서 연속절단하기 전에 자기공명영상을 찍거나 정렬 구멍을 뚫는 방법이 있다. 이 방법을 쓰면 자기공명영상이나 정렬 구멍을 보고 연속절단표본을 정렬할 수 있다.^{5,12} 그러나 이 연구에서는 흰쥐 뇌줄기의 크기가 작아서 이 방법이 어울리지 않았다.

셋째로 흰쥐 뇌줄기의 신경핵과 신경로를 구역화해야 했다. 2차원영상에서 보이는 구조를 구역화해야 3차

원영상에서 보이는 구조가 무엇인지 알 수 있으며, 내키는 구조만 꺼내볼 수 있다.^{14,15} 이 연구에서는 구역화를 위해서 절단표본을 염색하였으나 모든 신경핵과 신경로의 테두리가 뚜렷해지는 것은 아니었다(Fig. 2). 따라서 신경해부학을 아는 전문가가 신경해부학 그림책²의 도움을 받아서 직접 손으로 구역화해야 했다(Fig. 5). 앞으로 다른 연구에서 뇌줄기의 특정한 구조만을 염색하면 이것의 테두리가 더 뚜렷해질 것이고, 따라서 이것의 3차원영상을 더 잘 만들 수 있을 것이다.¹³

전문가가 직접 손으로 그리는 수동 구역화는 자동 구역화보다 느리지만 올바르다. 수동 구역화는 느리기 때문에 많은 환자를 진단하고 치료하는 진료 분야에서는 어울리지 않으나, 올바르기 때문에 의학 교육과 의학 연구 분야에서는 어울린다.¹⁵ 앞으로는 전문가의 지식을 살릴 수 있는 수동 구역화의 장점을 되풀이되는 노동을 막을 수 있는 자동 구역화의 장점을 모두 갖춘 반자동 구역화 풀그림을 만드는 것이 바람직할 것이다.

넷째로 쓸모 있는 가상해부 풀그림을 만들어야 했다. 뇌줄기의 생김새를 깨닫는 데 직접 도움이 되는 가상해부 풀그림을 만들기 위해서 다른 가상해부 풀그림의 쓰임새를 분석하였고,^{15,16} 신경과학자가 어떤 쓰임새를 바라는지 조사하였다. 또한 좋은 쓰임새를 갖춘 가상해부 풀그림을 만들기 위해서 컴퓨터 전문가의 도움을 받아야 했다. 이 연구에서 만든 가상해부 풀그림은 다른 장기도 적용할 수 있다. 보기를 들어 심장의 연속절단표본이 있으면 심장의 3차원영상을 잘라보거나 돌려볼 수 있는 가상해부 풀그림을 만들 수 있다.

이 연구의 다음 목표는 사람 뇌줄기의 3차원영상과 가상해부 풀그림을 만드는 것으로 삼았다. 이것은 같은 척추동물이라도 종에 따라서 뇌줄기의 상대 크기와 생김새가 다르기 때문이다.^{1,17,18} 흰쥐 뇌줄기와 사람 뇌줄기의 입체 생김새를 전주면 신경과학 연구 결과를 임상에 적용하는 데에도 보탬이 될 것이다.

결 론

이 연구에서 만든 흰쥐 뇌줄기의 가상해부 풀그림의 쓰임새는 다음과 같았다. 흰쥐 뇌줄기의 3차원영상을 마음대로 잘라볼 수 있었으며, 흰쥐 뇌줄기의 신경핵과 신경로 중에서 내키는 것을 꺼내서 돌려볼 수 있었다.

이 가상해부 풀그림을 써서 흰쥐 뇌줄기에 있는 신경핵과 신경로의 입체 생김새를 살펴본 결과 중에서 몇 가지 보기를 들면 다음과 같았다.

1) 널판다발핵은 올챙이처럼 생겼으며 올챙이 머리는 머리쪽을 향했다. 췌기다발핵은 손가락처럼 생겼으며 손가락은 올챙이 머리를 담을 것처럼 보였다.

2) 미주신경등쪽핵은 고립로핵과 허밀신경핵 사이에 있었으며, 이 세 구조는 양쪽에서 중심관을 둘러싸고 있었다.

3) 가쪽섬유띠는 양옆이 눌린 납작한 모양이었으며, 가쪽섬유띠의 머리쪽 부분은 좁아지면서 등쪽을 향했고 꼬리쪽 부분은 말굽처럼 흰 중간소뇌다리에 싸여 있었다.

이 연구에서 만든 흰쥐 뇌줄기의 3차원영상과 가상 해부 폴그림은 흰쥐 뇌줄기의 입체 생김새를 깨닫는데 도움이 되었다.

감사의 말씀

이 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(기초의학)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Kiernan JA: Barr's the human nervous system. An anatomical viewpoint. 7th ed, Philadelphia, New York, Lippincott-Raven Publishers, 1998, pp13-14, pp115-143
2. Paxinos G and Watson C: The rat brain in stereotaxic coordinates. 2nd ed, California, Academic Press, 1986
3. Hirsch WL, Kemp SS, Martinez AJ, Curtin H, Latchaw RE and Wolf G: Anatomy of the brainstem. Correlation of in vitro MR images with histologic sections. *Am J Neuroradiol* 10: 923-928, 1989
4. Afshar F and Dykes E: A three-dimensional reconstruction of the human brain stem. *J Neurosurg* 57: 491-495, 1982
5. Terr LI and Edgerton BJ: Surface topography of the cochlear nuclei in humans. Two- and three- dimensional analysis. *Hear Res* 17: 51-59, 1985
6. Terr LI and Edgerton BJ: Three-dimensional reconstruction of the cochlear nuclear complex in humans. *Arch Otolaryngol* 111: 495-501, 1985
7. Sinha UK, Terr LI, Galey FR and Linthicum FH Jr: Computer-aided three-dimensional reconstruction of the cochlear nerve root. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 113: 651-655, 1987
8. Terr LI and Sinha UK: Three-dimensional computer-aided reconstruction of the pontobulbar body. *Am J Otol* 8: 432-435, 1987
9. Paxinos G and Watson C: The rat brain in stereotaxic coordinates. Compact 3rd ed, San Diego, Academic Press, 1997
10. Batnitzky S, Price HI, Lee KR, Cook PN, Cook LT, Fritz SL, Dwyer SJ III and Watts C: Three-dimensional computer reconstruction of brain lesions from surface contours provided by computed tomography. A prospectus. *Neurosurgery* 11: 73-84, 1982
11. Lansky LL, Batnitzky S, Price HI, Cook PN and Dwyer SJ III: Application of three-dimensional computer reconstruction from computerized tomography to intracranial tumors in children. *J Neurooncol* 1: 347-356, 1983
12. Mobley JP, Huang J, Moore JK and McCreery DB: Three-dimensional modeling of human brain stem structures for an auditory brain stem implant. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 166: 30-31, 1995
13. German DC and Manaye KF: Midbrain dopaminergic neurons (nuclei A8, A9, and A10). Three-dimensional reconstruction in the rat. *J Comp Neurol* 331: 297-309, 1993
14. Bomans M, Höhne KH, Tiede U and Riemer M: 3D-segmentation of MR images of the head for 3D-display. *IEEE Trans Med Imag* 9: 177-183, 1990
15. Tiede U, Bomans M, Höhne KH, Pommert A, Riemer M, Schiemann T, Schubert R and Lierse W: A computerized three-dimensional atlas of the human skull and brain. *Am J Neuroradiol* 14: 551-559, 1993
16. Höhne KH, Bomans M, Riemer M, Schubert R, Tiede U and Lierse W: A volume-based anatomical atlas. *IEEE Comput Graph Appl* 12: 72-78, 1992
17. Sivanandasingham P and Warwick R: A comparative numerical study of the trigeminal mesencephalic nucleus. *Acta Anat* 96: 449-458, 1976
18. Moore JK: The human auditory brain stem. A comparative view. *Hear Res* 29: 1-32, 1987