9장 중추신경계

- 중추신경계의 해부구조
- 척수와 뇌
- 뇌의 기능

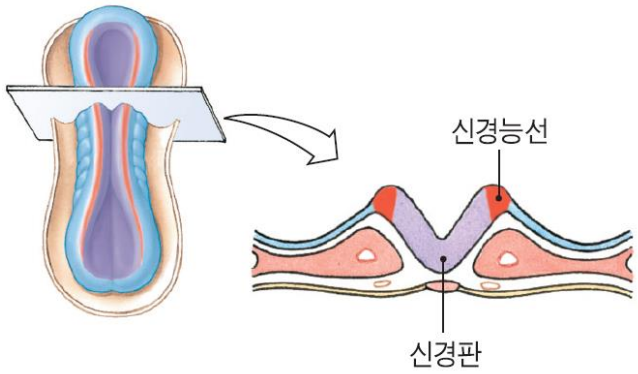
중추신경계의 해부구조

- 척추동물의 중추신경계(CNS)는 두뇌와 척수로 구성
- 두뇌는 어류에서부터 인간으로 계통발생학적 체계를 거슬러 올라감에 따라 복잡성과 전문성의 정도가 매우 증가
- 척추동물에서 중추신경계는 상피막으로 둘러싸여 있음
- 유체로 채워진 중심 체강을 싸는 신경조직의 층들로 구성

중추신경계는 속이 빈 관에서부터 발생한다

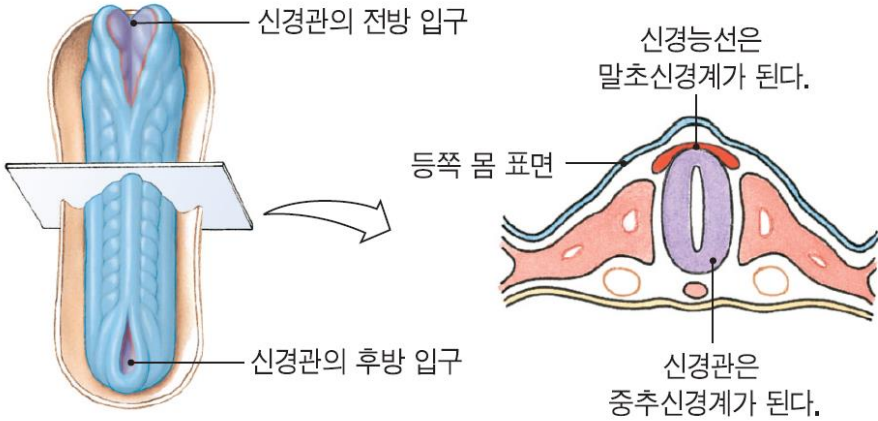
(a) 20일

발생 20일쯤의 배아에서는 신경판세포들(자주색)은 정중선 쪽으로 이동한다. 신경능선세포는 신경판세포들과 함께 이동한다.



(b) 23일

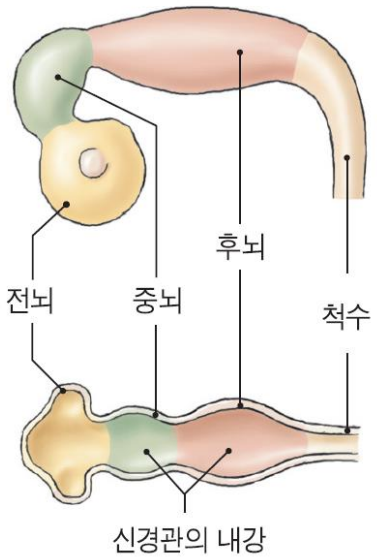
발생 23일쯤에 신경관 형성은 거의 완성된다.



중추신경계는 속이 빈 관에서부터 발생한다

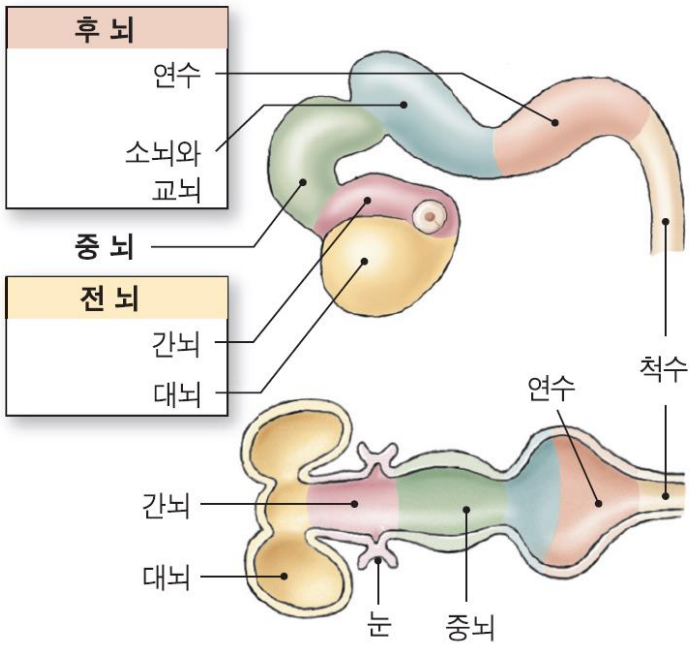
(c) 4주

3개의 두뇌 지역으로 분화된 신경관의 전방 끝을 보이는 4주령의 인간 배아



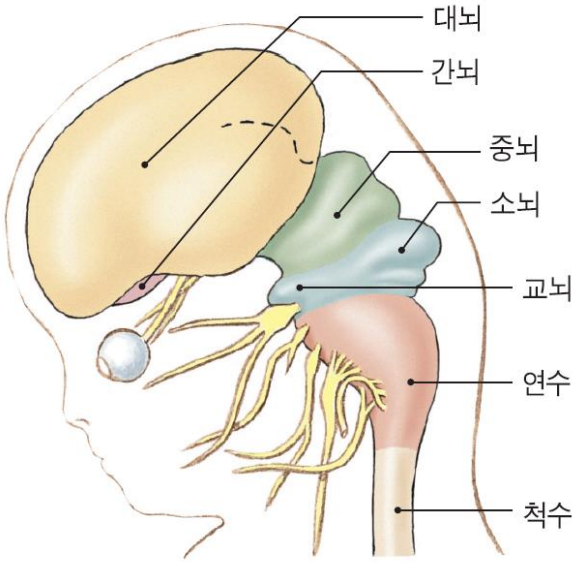
(d) 6주

6주령 시 신경관은 출생 시 존재하는 두뇌 부분으로 분화된다. 단면에서 보인 빈 공간은 두뇌에서 뇌실이 될 것이다(그림 9-4 참고).



(e) 11주

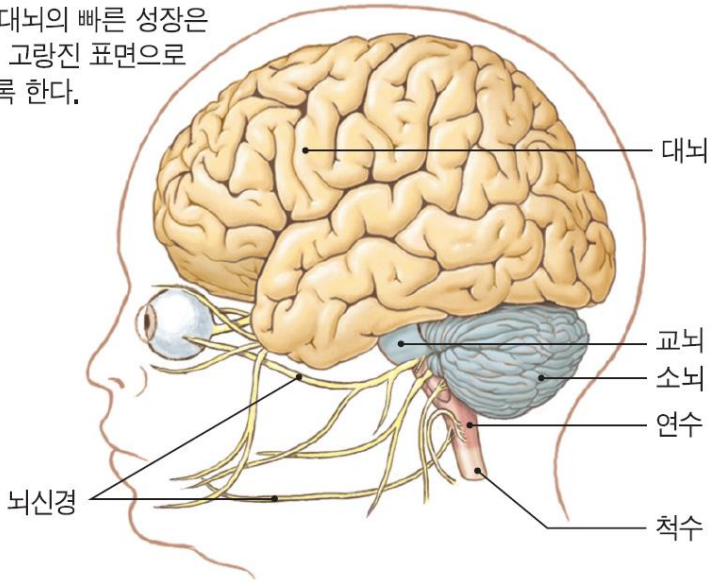
배아 생장에서 11주령까지 대뇌의 크기가 두뇌의 다
부분과 비교해서 주목할 만큼 더 빠르게 커진다.



중추신경계는 속이 빈 관에서부터 발생한다

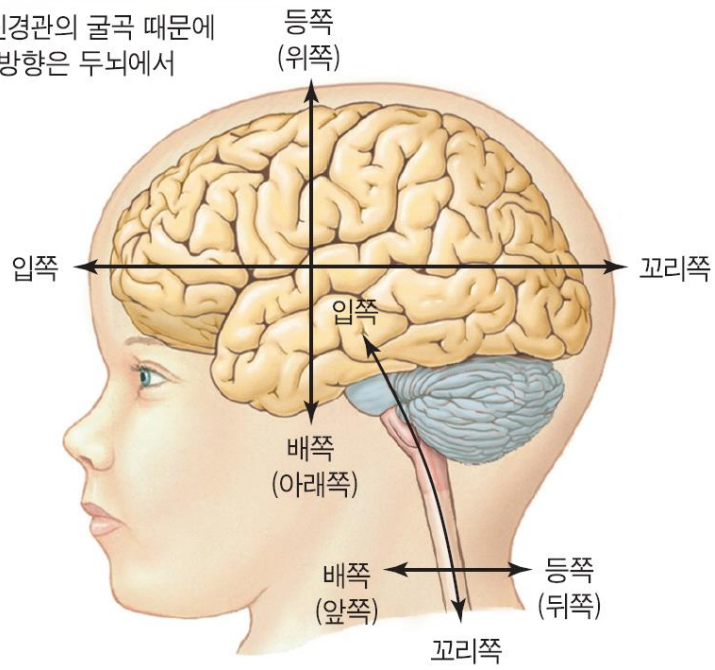
(f) 40주

출생 시, 대뇌는 두뇌의 다른 부분의 대부분을 감싸게 된다. 단단하고 제한적인 크기의 두개골 안에서 일어나는 대뇌의 빠른 성장은 둘둘 말린 고랑진 표면으로 발달되도록 한다.

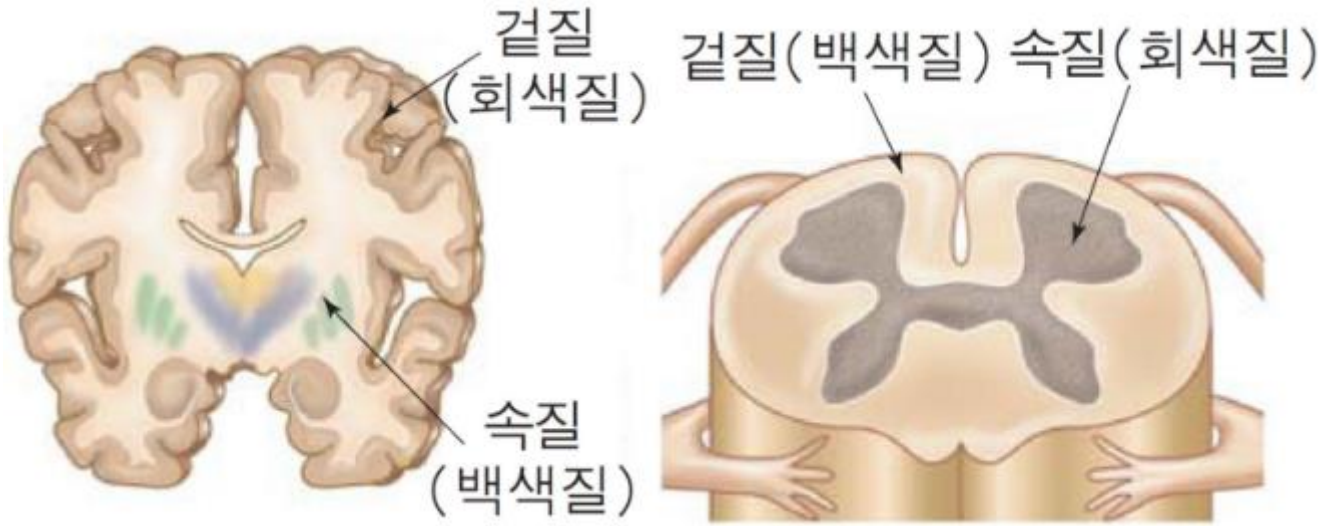


(g) 어린이

발생 과정 동안 신경관의 굴곡 때문에 '등쪽'과 '배쪽'의 방향은 두뇌에서 차이가 있다.



중추신경계는 회색질과 백색질로 나뉜다



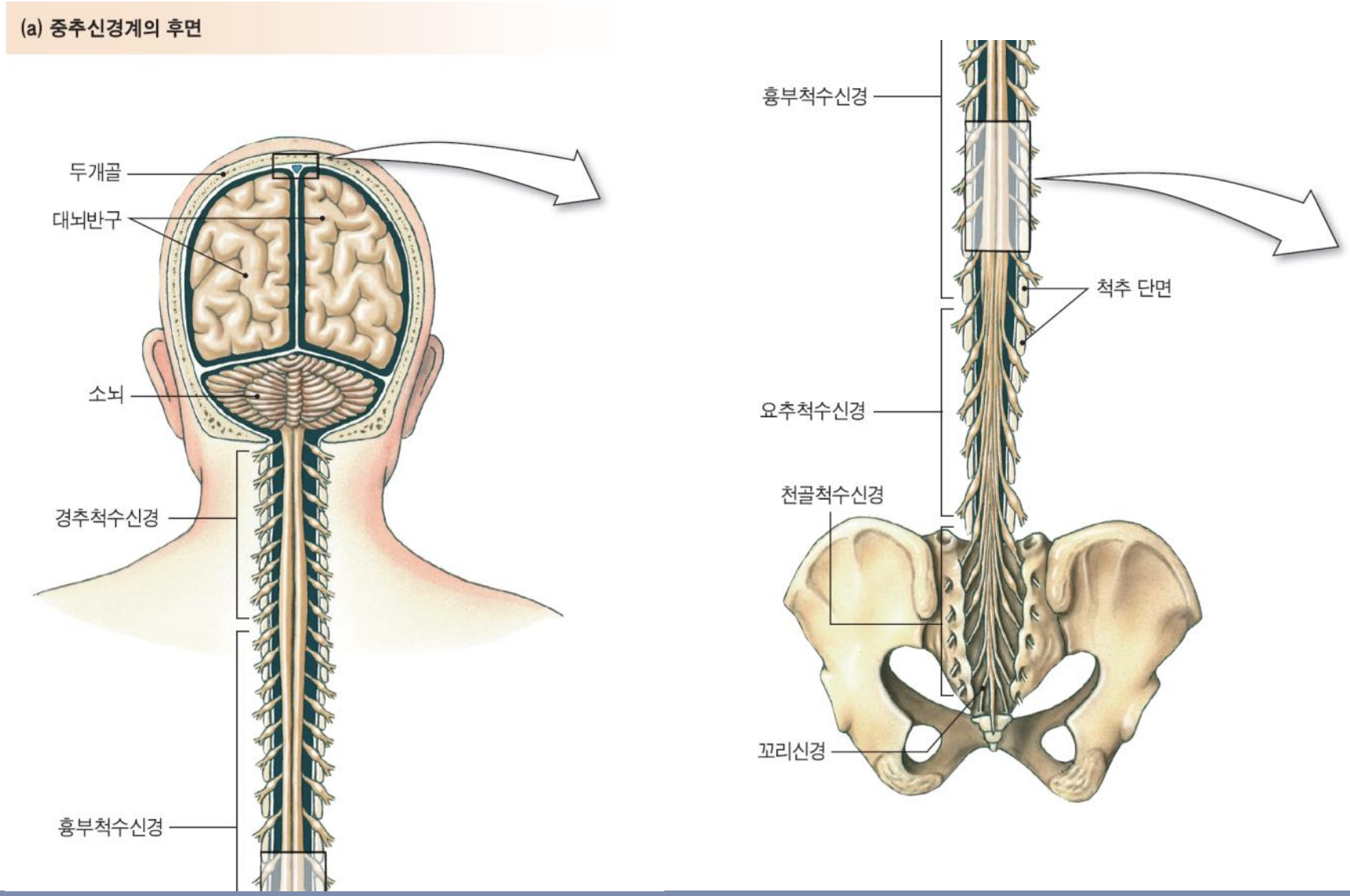
회색질(gray matter): 수초화되지 않은 신경세포체와 수상돌기 및 축삭말단으로 구성

- 두뇌와 척수 양쪽 안에서 조직적으로 집합
- 신경핵: 기능이 비슷한 뉴런의 그룹

백색질(white matter): 수초화된 축삭과 극소수의 세포체

- 신경로: 중추신경계의 여러 부분을 연결하는 축삭뭉치

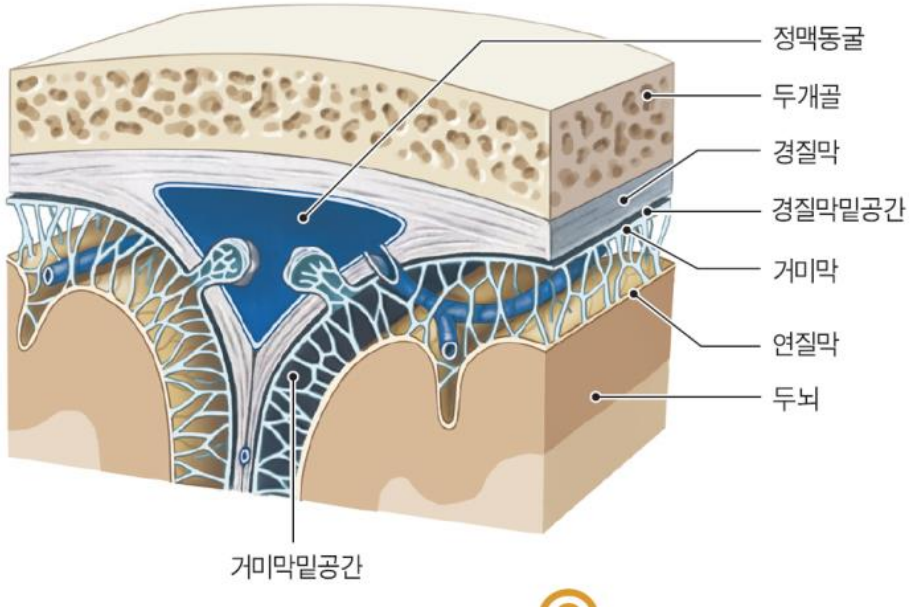
뼈와 결합조직이 중추신경계를 조정한다



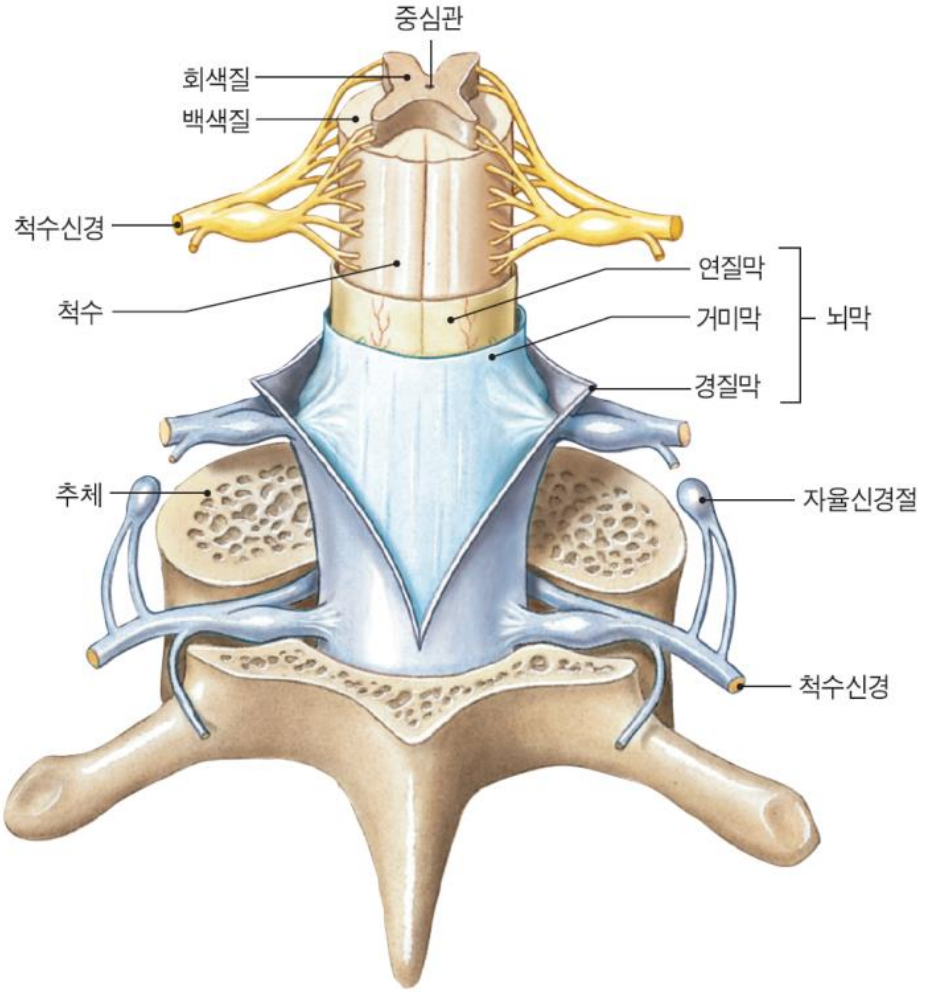
뼈와 결합조직이 중추신경계를 조정한다

(b) 뇌막단면도

뇌막과 세포외액이 섬세한 뇌조직에 완충작용을 해주고 있다.



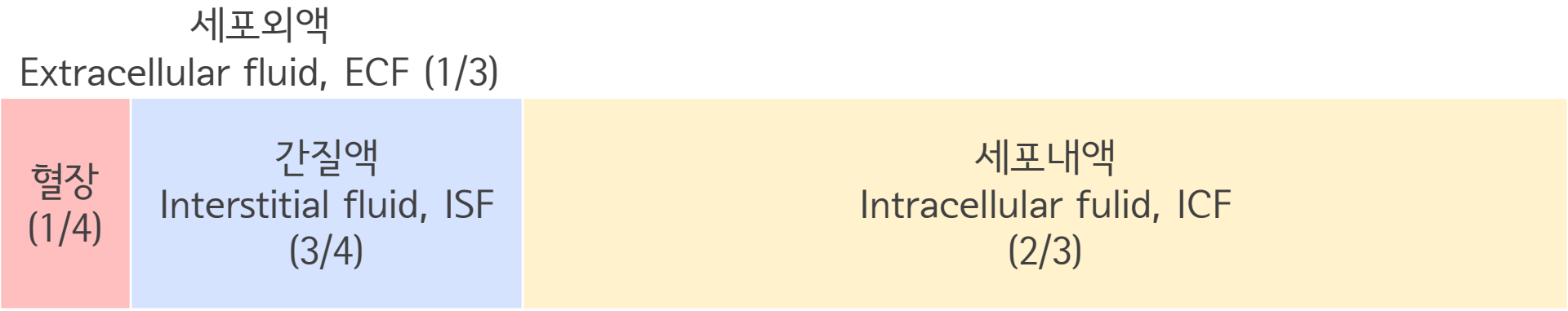
(c) 척수와 척추의 후면



두뇌는 뇌척수액 내에 떠 있다

뇌척수액(cerebrospinal fluid, CSF): 뇌실 벽의 특정 지역인 맥락막총에 의해서 지속적으로 공급되는 염분기가 있는 용액

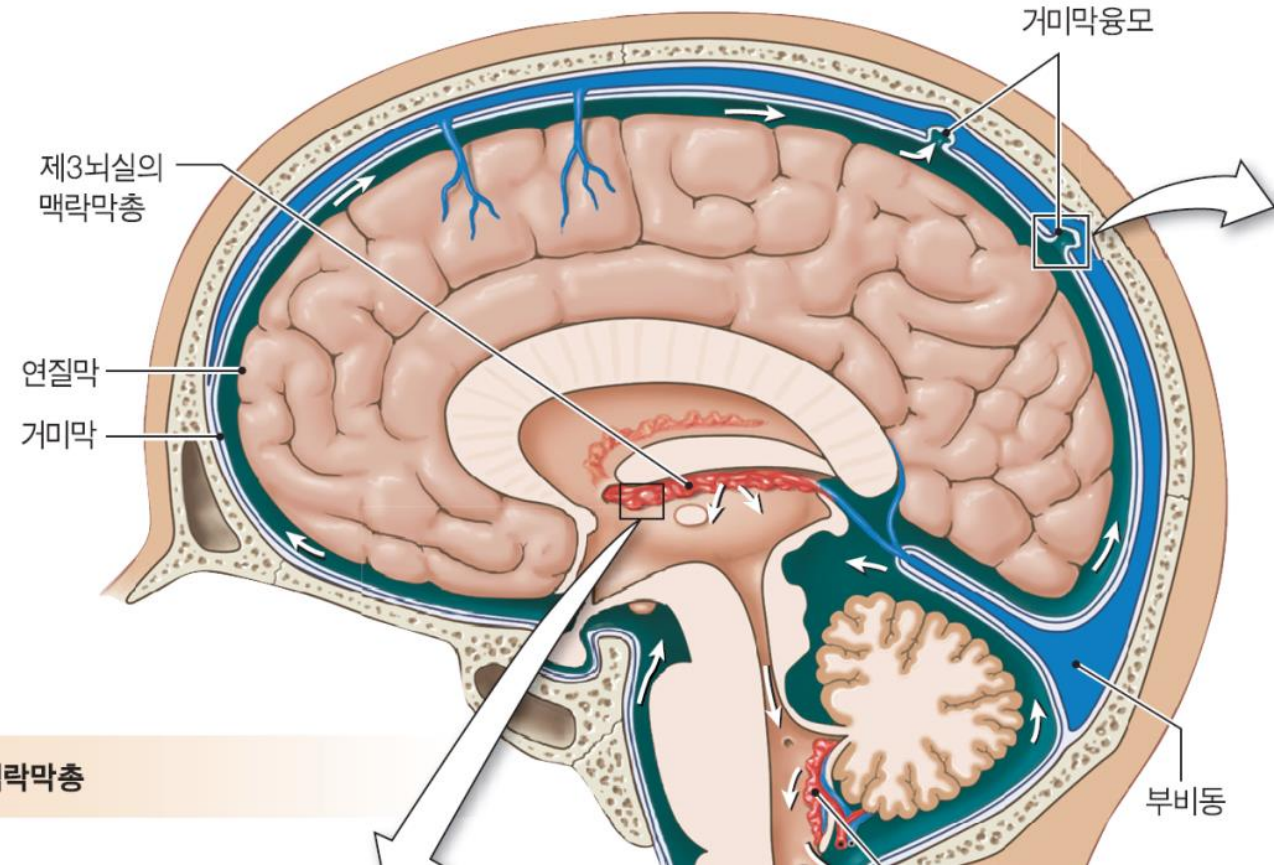
- 거미막밑공간과 뇌실을 채우는 액체
- 맥락막총의 세포들이 선택적으로 나트륨 이온과 다른 용질을 혈장에서 뇌실로 끌어와 삼투성 기울기를 형성
- 뇌와 척수를 물리적, 화학적 충격에서 보호하는 완충역할
- 무색, 투명, 약알칼리성, 요추천자로 검사



두뇌는 뇌척수액 내에 떠 있다

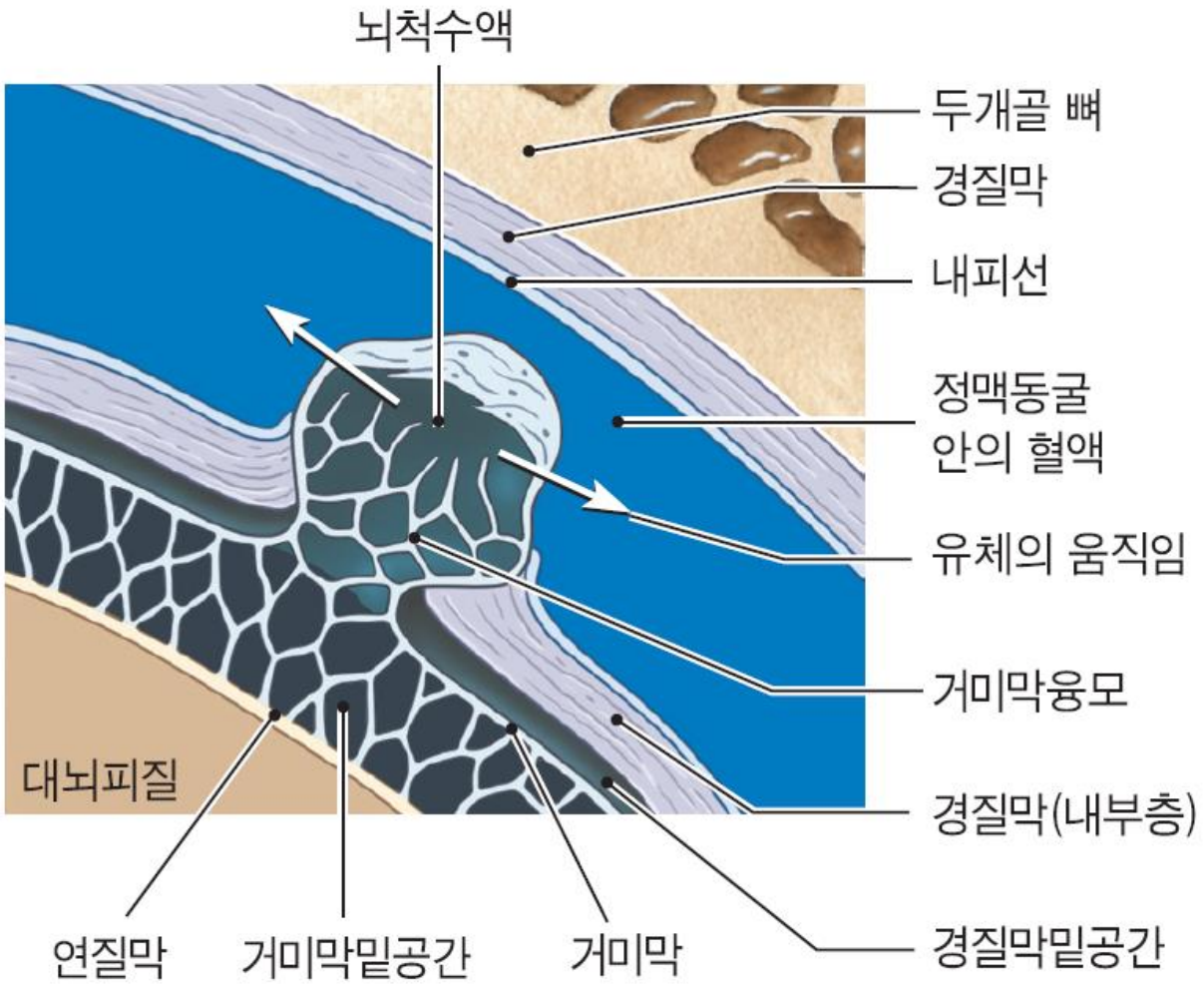
(b) 뇌척수액의 분비

뇌척수액은 뇌실로 분비가 되어서 중추신경계를 완충하는 거미막밑공간을 통해 흐른다.



(c) 맥락막총

두뇌는 뇌척수액 내에 떠 있다



혈뇌장벽은 혈액 내의 위험한 요소들로부터 뇌를 보호한다

혈뇌장벽(blood-brain barrier, BBB)

- 뇌와 혈액을 격리시키는 혈관장벽
- 높은 선택적 투과성 → 세균, 병원체 등 위험물질 격리
- 뇌 모세혈관의 내피세포는 밀착이음(tight junction)을 형성 → 세포간 용질의 이동을 방해
- 인접한 성상세포로부터 분비되는 물질이 밀착이음 형성 유도
- 수용성물질 차단, 작은 지용성 분자들은 쉽게 확산
- 뇌실주위기관: 혈뇌장벽 X, 주위에 노출

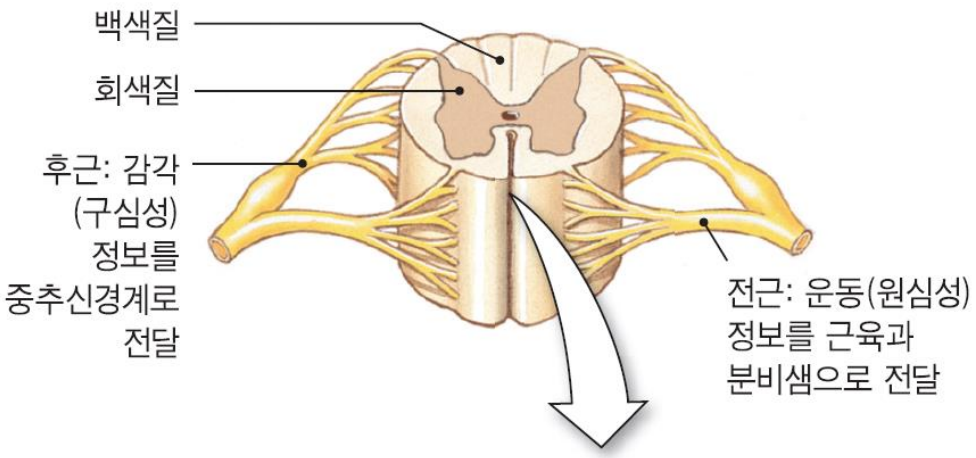
신경조직은 특별한 대사작용이 필요하다

- 뉴런은 신경전달물질의 능동수송을 위해 ATP가 필요
- ATP는 포도당 대사와 호흡을 통해 제공

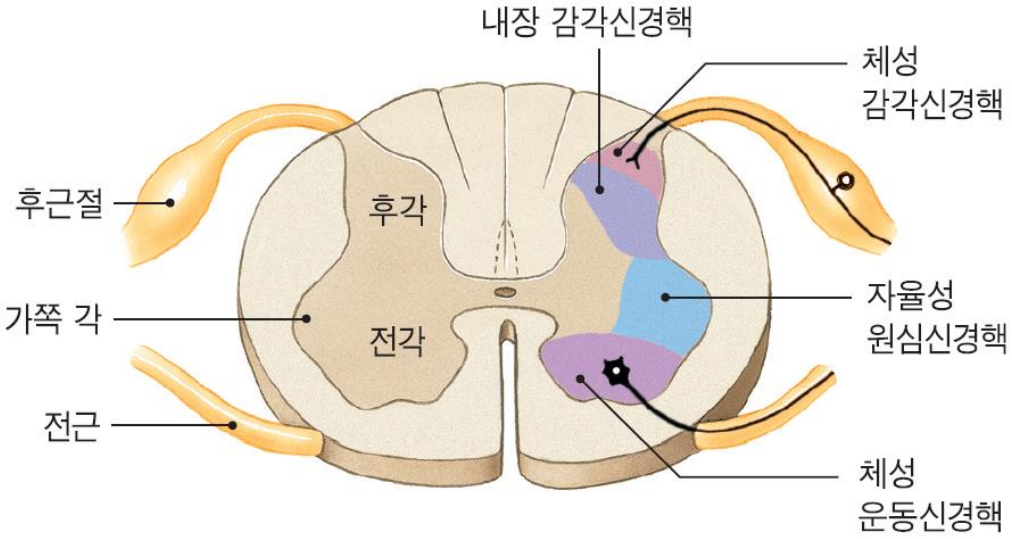
- 포도당/산소 결핍 시 뇌의 치명적인 결과 초래
- 산소가 수 분 차단되어도 뇌손상 야기
- 뉴런의 유일한 에너지원은 포도당

척수

(a) 척수의 한 절편, 배쪽면, 한 척수신경의 쌍을 보여준다.

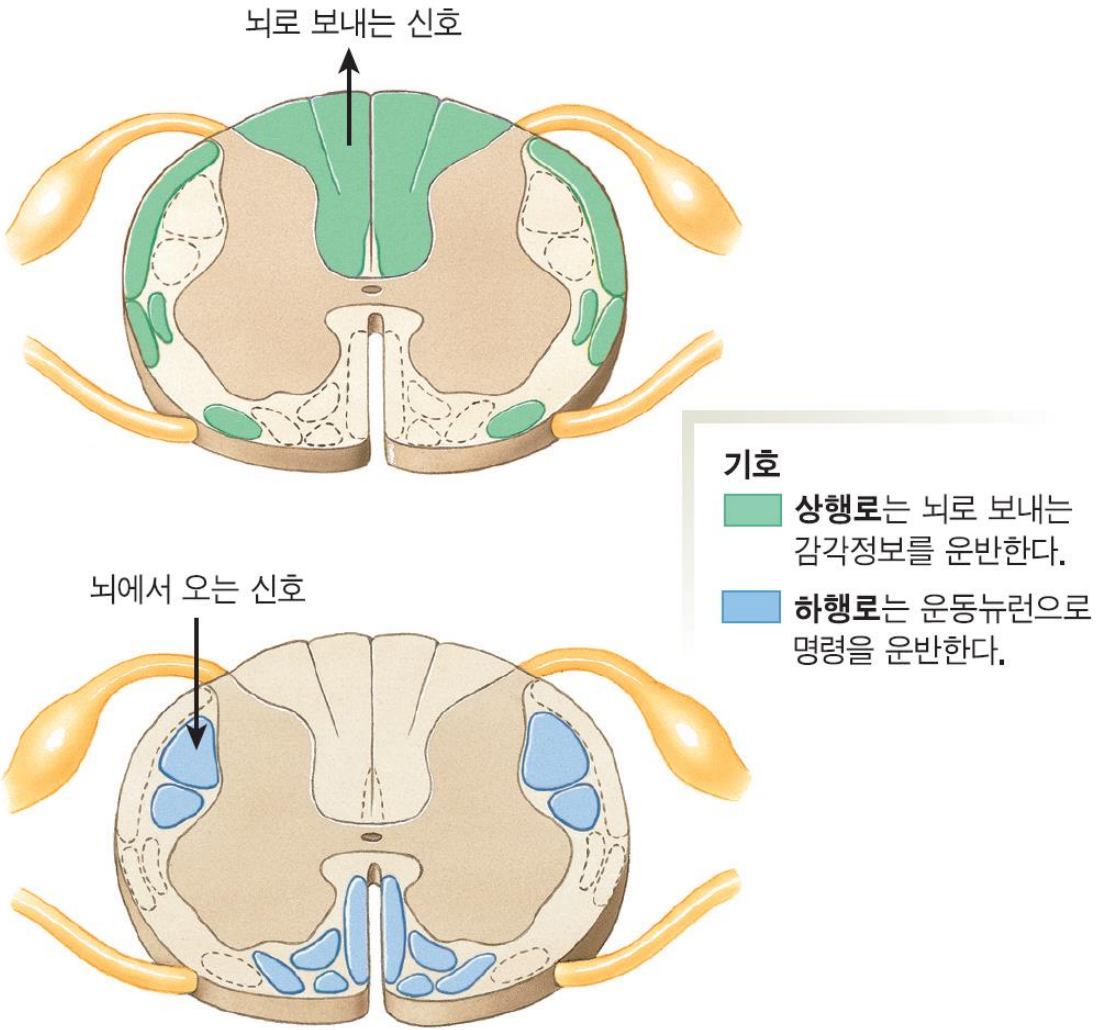


(b) **회색질**은 운동신경과 감각신경핵으로 구성된다.

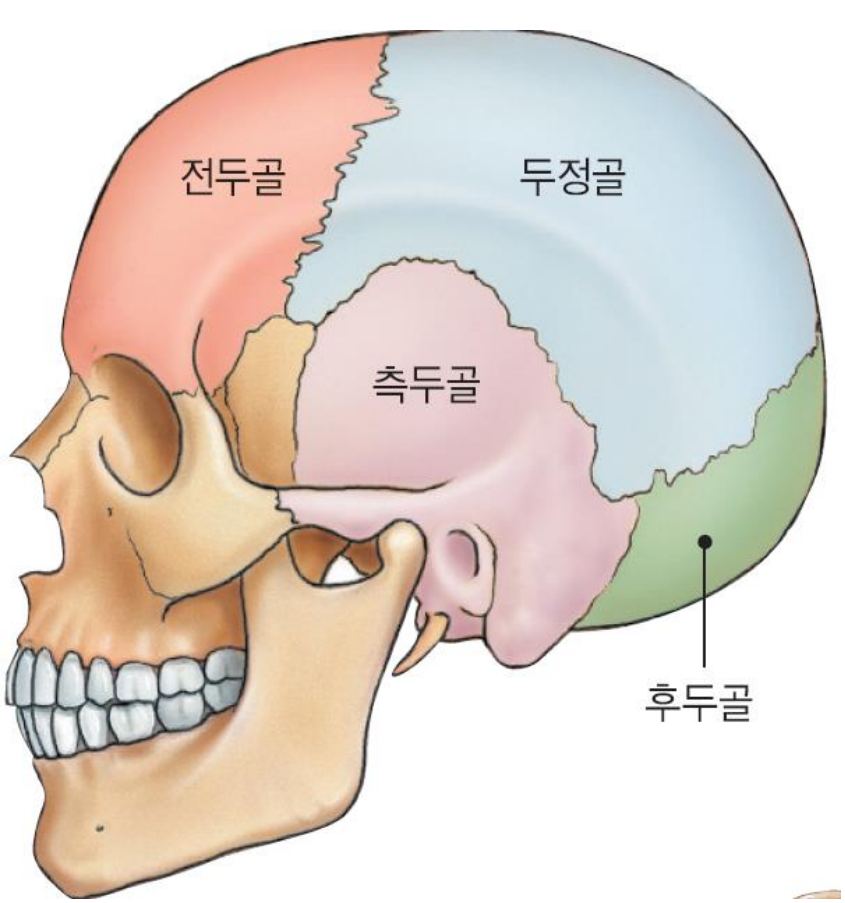


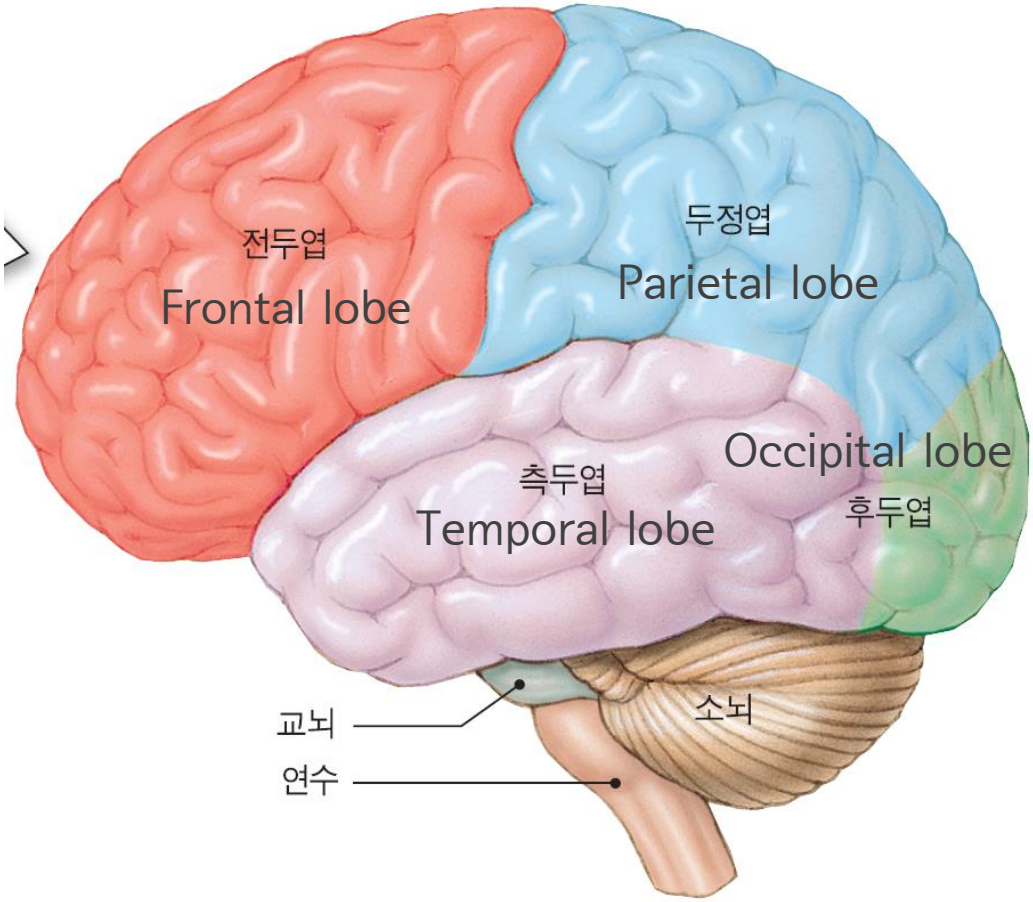
척수

(c) 척수의 **백색질**은 뇌로 보내거나 받는 정보를 운반하는 축삭으로 구성된다.

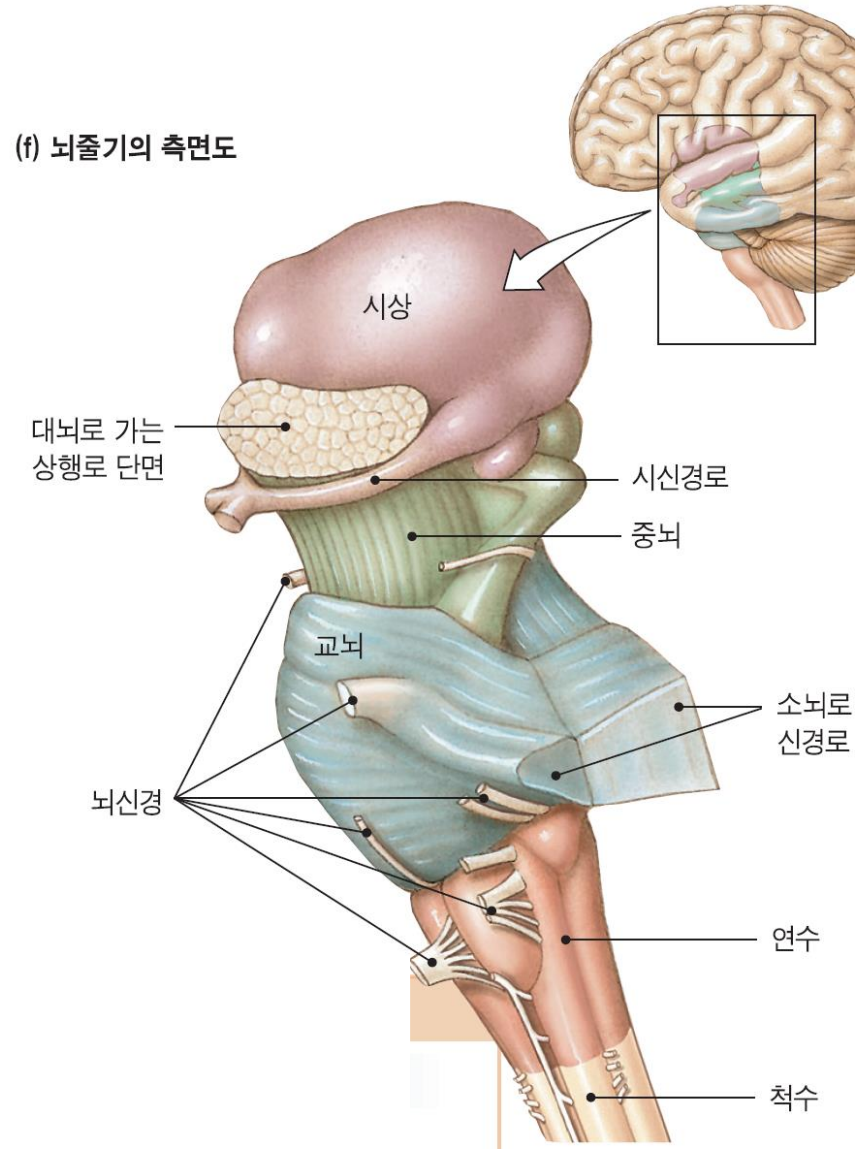


뇌


전두골
두정골
측두골
후두골


전두엽
Frontal lobe
두정엽
Parietal lobe
Occipital lobe
후두엽
측두엽
Temporal lobe
교뇌
연수
소뇌

뇌줄기는 뇌에서 가장 오래된 부위이다



뇌줄기의 기능

중 뇌

- 안구운동

교 뇌

- 대뇌와 소뇌 간의 중계소
- 호흡조정(그림 18-14)

연 수

- 불수의 기능 조절(그림 11-3)

망상체 형성(보이지 않음)
(그림 9-16 참고)

- 각성
- 수면
- 근육 긴장
- 통증 조절

뇌줄기는 뇌에서 가장 오래된 부위이다

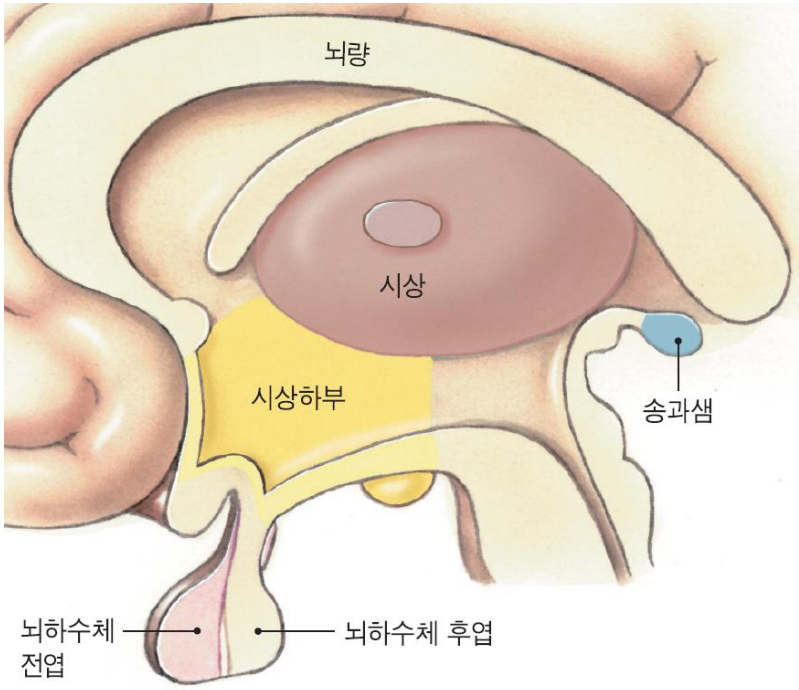
표 9-1 뇌신경

번호	이름	유형	기능
1번	후각신경	감각성	코로부터 냄새 정보
2번	시각신경	감각성	눈으로부터 시각정보
3번	동안신경	운동성	눈의 움직임, 동공 수축, 렌즈 모양
4번	활차신경	운동성	눈의 움직임
5번	삼차신경	혼합성	얼굴과 입으로부터의 감각정보, 씹는 운동을 위한 운동신호
6번	외향신경	운동성	눈의 움직임
7번	얼굴신경	혼합성	미각 눈물샘과 침샘, 얼굴 표정을 위한 원심성 신경신호
8번	전정달팽이신경	감각성	청각과 평형감각
9번	설인신경	혼합성	구강 내 감각, 혈관 내의 압력수용체와 화학수용체로부터의 감각 삼키기, 귀밑 침샘 분비를 위한 원심성 신경
10번	미주신경	혼합성	많은 내장기관, 근육, 샘의 감각과 원심성 신경
11번	척추부신경	운동성	입속의 근육, 목과 어깨의 일부 근육 부분
12번	설하신경	운동성	혀 근육

소뇌는 움직임을 조절한다

- 뇌에서 두 번째로 큰 부분
- 목덜미의 바로 위쪽, 두개골의 바닥 안쪽에 위치
- 감각정보를 처리하고 운동 수행을 조정
- 체성 수용체와 또는 내이 안에 위치한 평형과 균형을 위한 수용체로부터 정보를 수집하여 소뇌에서 처리

간뇌는 항상성 중추를 포함한다



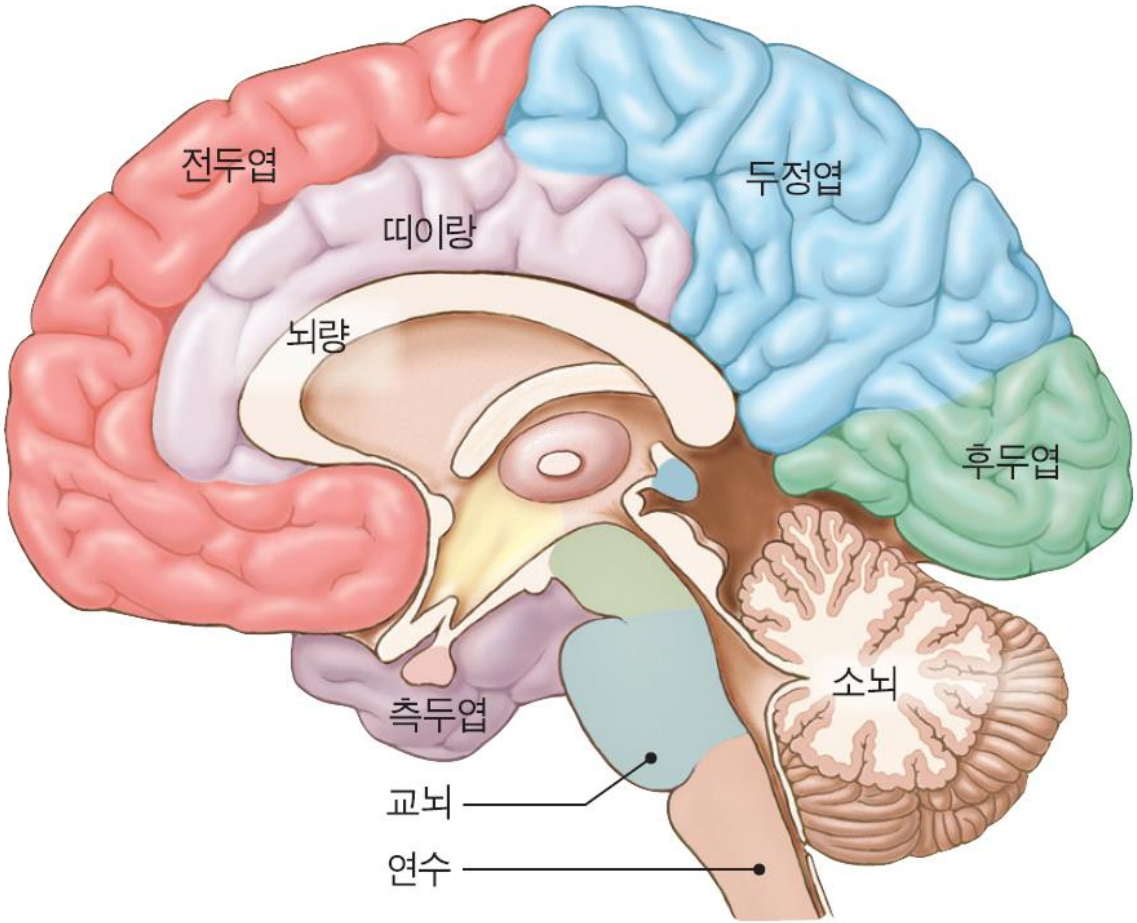
- 간뇌(사이뇌)는 뇌줄기와 대뇌 사이
- 시상(thalamus): 감각섬유를 받아 정보를 처리하게 되는 대뇌로 전달
- 시상하부(hypothalamus): 시상 아래에 위치, 항상성 유지를 위한 중추, 배고픔과 목마름 등 다양한 행동조절 담당, 내분비계, 자율신경계에 영향

간뇌는 항상성 중추를 포함한다

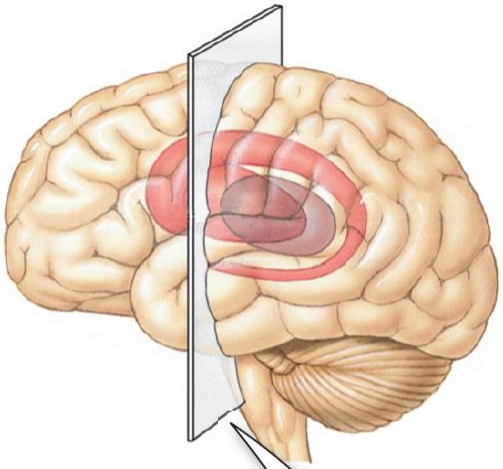
표 9-2 시상하부의 기능

1. 교감신경 활성화
   - 부신 수질로부터 분비되는 카테콜아민을 조절(싸움-도망 반응)
   - 내분비 췌장에 대한 효과를 통해 혈중 포도당 농도를 유지하도록 도움
   - 떨림, 땀 흘림을 촉진
2. 체온 유지
3. 체내 삼투몰 농도 조절
   - 목마름, 마시는 행동을 야기함
   - 바소프레신 분비 촉진
4. 생식 기능 조절
   - 옥시토신(자궁 수축과 젖 분비 조절) 분비 조절
   - 뇌하수체 전엽에서 분비되는 생식기 성장호르몬인 FSH와 LH를 조절
5. 음식 섭취 조절
   - 포만중추를 자극
   - 섭식중추를 자극
6. 변연계와 연계하여 행동과 감정 조절에 영향을 미침
7. 연수에 있는 심혈관 조절중추에도 영향을 미침
8. 뇌하수체 전엽의 호르몬 분비를 조절하는 영양호르몬 분비

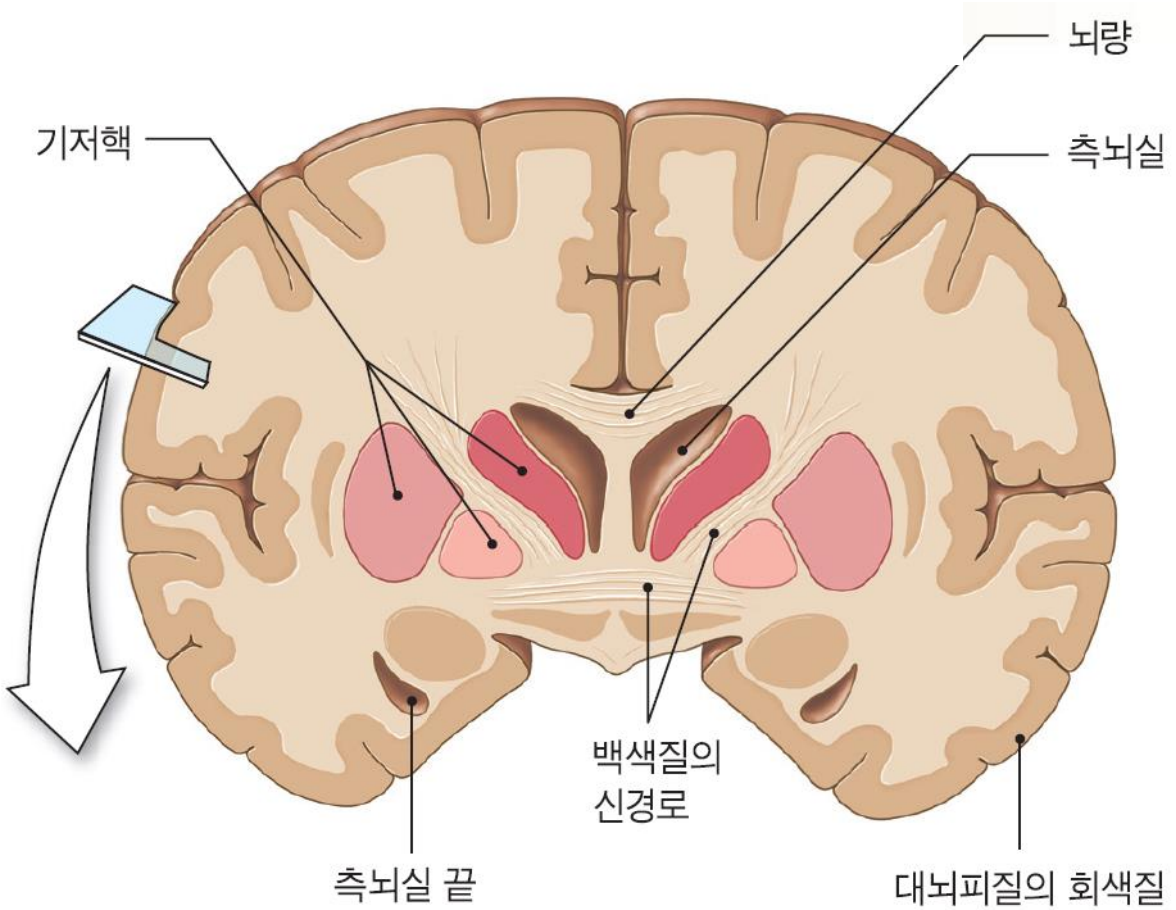
대뇌는 뇌의 고등기능이 수행되는 장소이다



대뇌는 뇌의 고등기능이 수행되는 장소이다

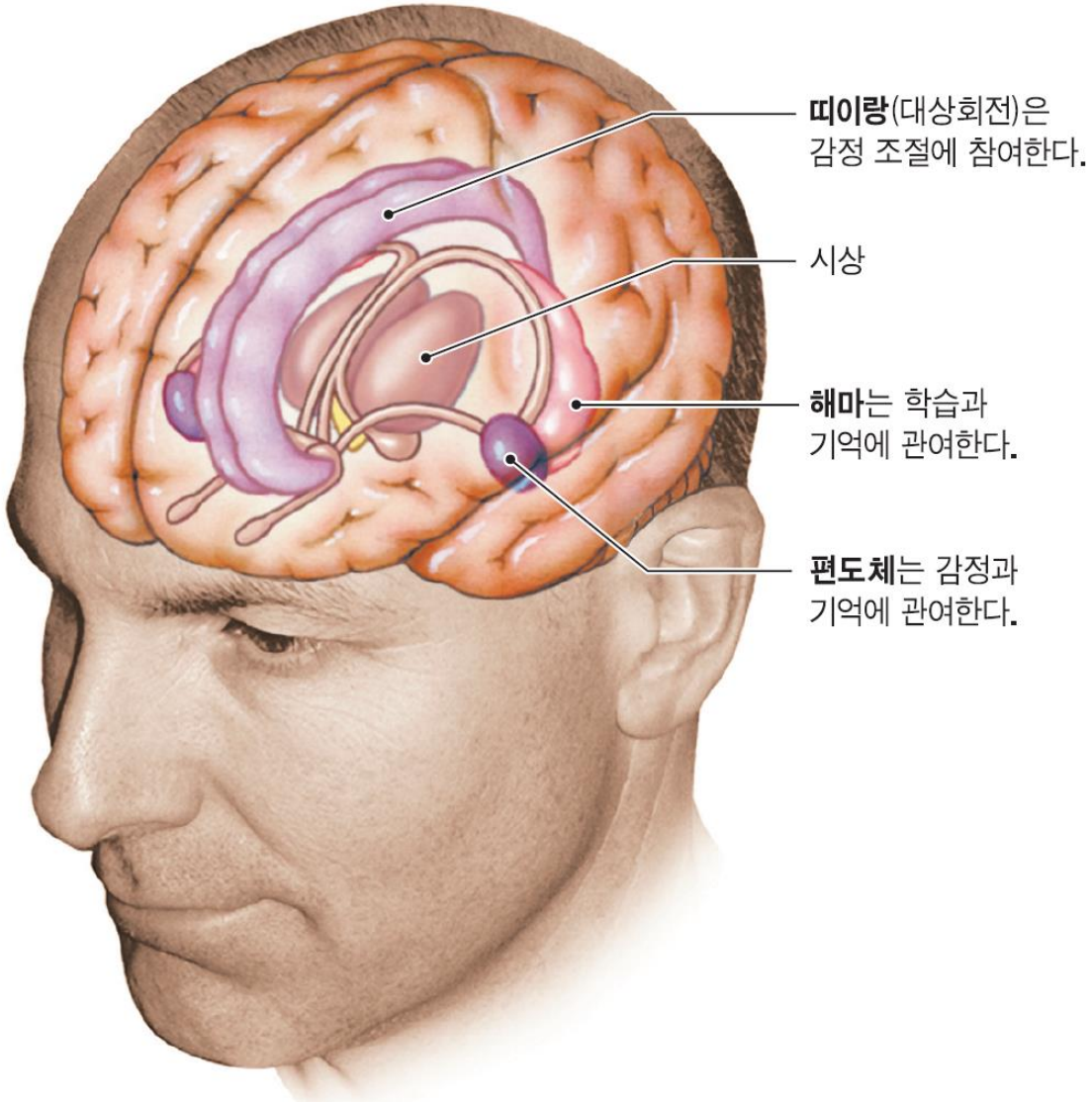


(a) 기저핵을 보여주는 뇌의 단면



(b) 대뇌피질의 세포체들은 뚜렷한 층을 이룬다.

대뇌는 뇌의 고등기능이 수행되는 장소이다



뇌의 기능

뇌를 기능적인 관점에서 세 부분으로 나눌 수 있음

① 감각영역: 감각신호를 받고 지각신호로 바꿈

② 운동영역: 골격근을 움직임

③ 연합영역: 감각영역과 운동영역에서 들어온 정보를 통합하고 자발적 행동을 지시

대뇌피질은 기능적 영역으로 구성되어 있다

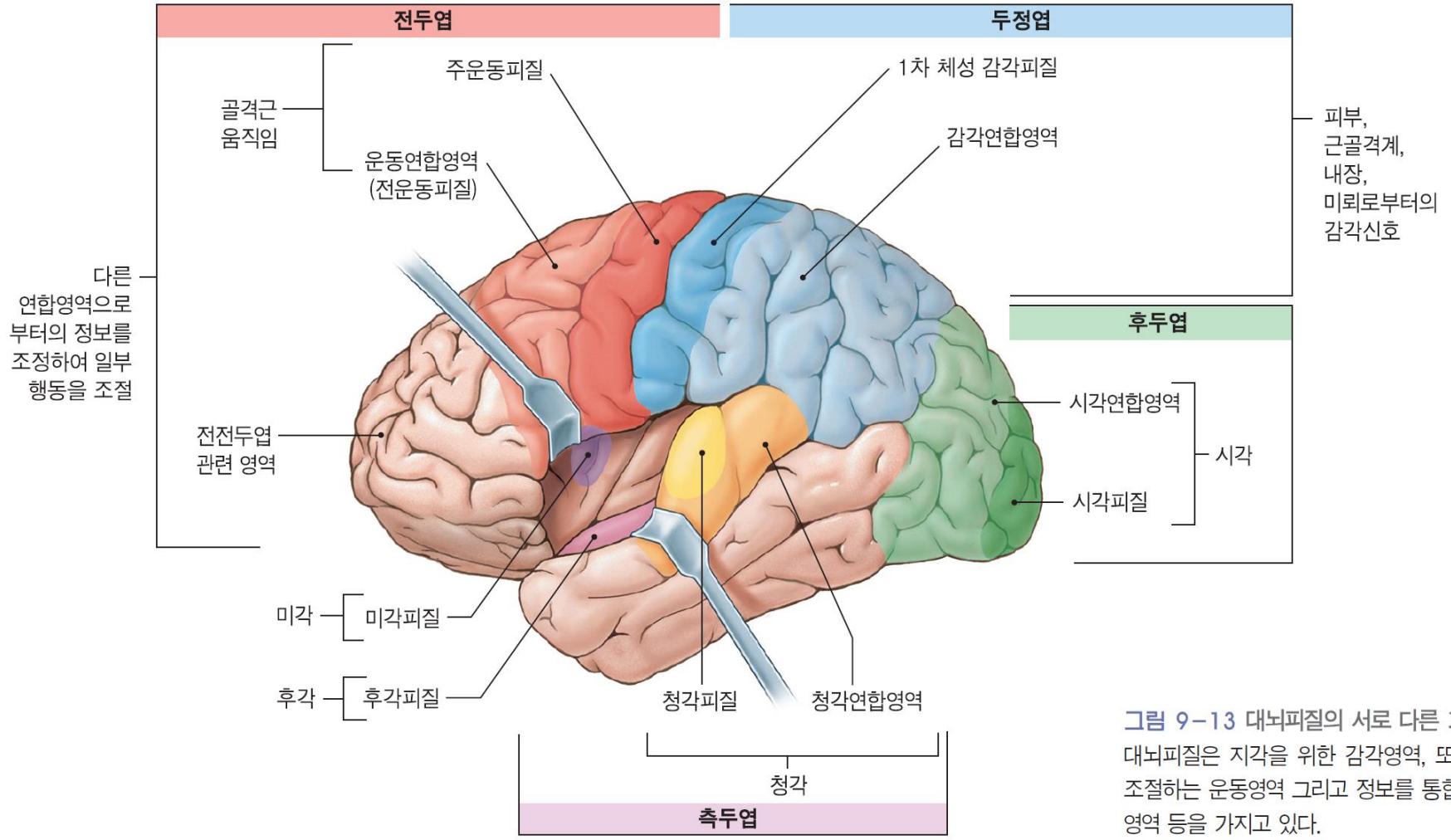
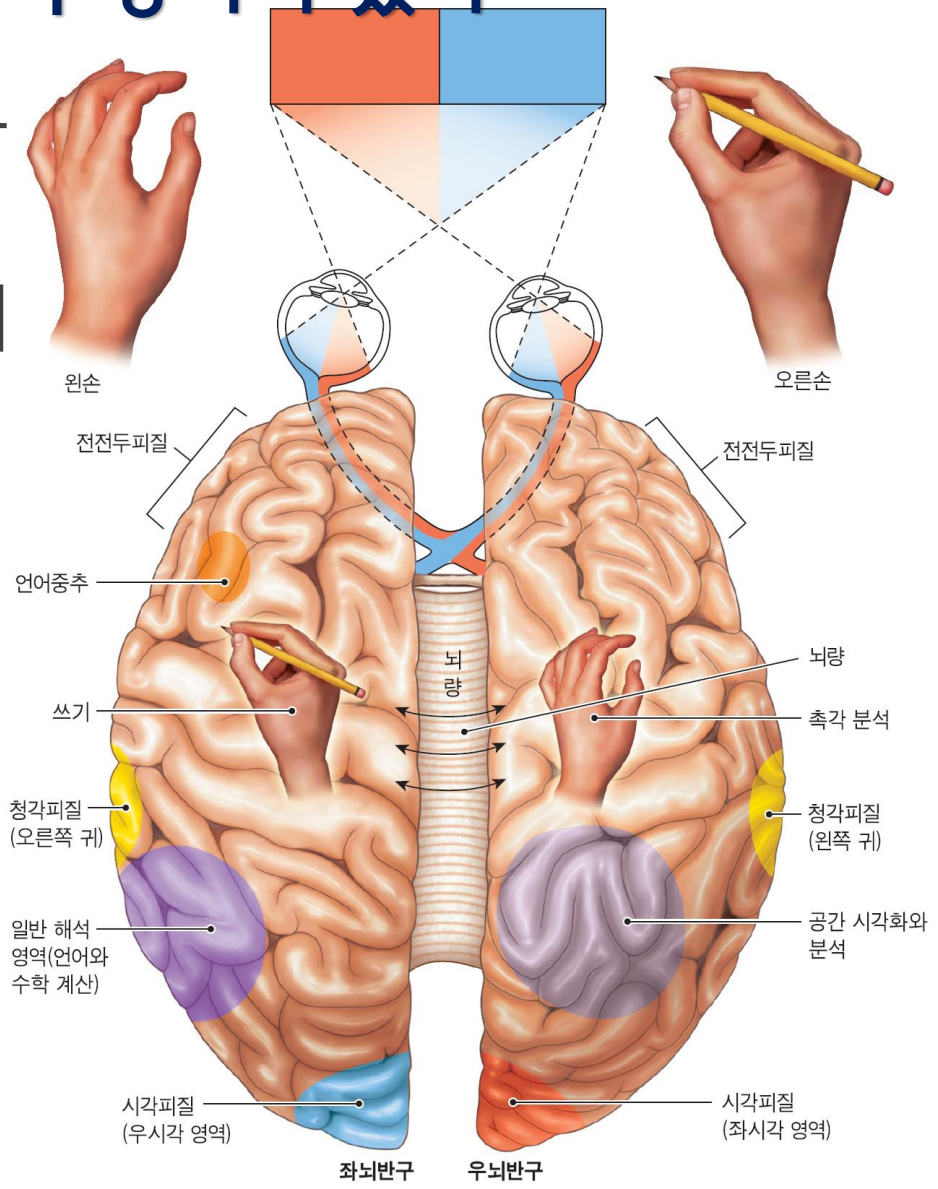


그림 9-13 대뇌피질의 서로 다른 기능 영역. 대뇌피질은 지각을 위한 감각영역, 또한 운동을 조절하는 운동영역 그리고 정보를 통합하는 연합영역 등을 가지고 있다.

대뇌피질은 기능적 영역으로 구성되어 있다

- 대뇌피질의 기능이 반드시 엽과 정확하게 일치하지는 않음
- 기능적 구분은 대뇌피질에 걸쳐 대칭적이지 않음
- 대뇌편측화, 대뇌 우세성



대뇌피질은 기능적 영역으로 구성되어 있다

표 9-3 몇 가지 뇌 영상 기법	
생체외(*in Vitro*) 기법	
서양고추냉이 과산화효소(horseradish peroxidase, HRP)	HRP 효소는 세포내이입에 의해 축삭 말단으로 이동하여 역행성 축삭수송에 의해 세포체와 수상돌기로 전달된다. 효소-기질 반응이 완료되면 현미경에서 전체 뉴런을 관찰할 수 있다.
브레인보우 생쥐(brainbow mice)	형광단백질들을 뉴런에 삽입한 형질전환 생쥐(transgenic mice)를 발현하는 단백질에 따라 뉴런이 무지개 색깔을 나타낼 수 있다(이 장의 표지 그림). http://jaxmice.jax.org/jaxnotes/510/510n.html
생체조직 투명화 기술(CLARITY: Clear, lipid-exchanged, anatomically rigid, imaging/immunostaining-compatible tissue hydrogel)	뇌의 지질을 제거하고 플라스틱 매트릭스에 삽입하여 온전한 투명한 뇌를 만드는 기술. 신경망을 보다 쉽게 삼차원으로 재구성할 수 있다. www.nature.com/news/see-through-brains-clarify-connections-1.12768
살아있는 뇌 활성도의 생체내(*In Vivo*) 영상기법	
뇌파(electroencephalography, EEG)	많은 뉴런으로부터 두피 위에 장치한 전극을 이용하여 두뇌 전기 활동을 측정한다(그림 9-17a).
양전자방출단층촬영(positive emission tomography, PET)	포도당에 양전자를 방출하는 방사성 동위원소를 결합시킨다. 포도당을 사용하는, 대사적으로 활성도가 높은 세포들은 더욱 강한 신호를 보인다(그림 9-20). www.nature.com/jcbfm/webfocus/mri/index.html
기능적자기공명영상법(functional magnetic resonance imaging, fMRI)	활성도가 높은 뇌 조직은 혈류를 증가시키고 더 많은 산소를 사용한다. 물속의 수소핵은 자기(magnetic) 신호를 만들어내는데, 이것은 더 활동적인 영역을 나타낸다. www.nature.com/news/brain-imaging-fmri-2-0-1.10365

척수와 뇌는 감각정보를 통합한다

- 감각계는 환경을 감지하고 정보를 중추에 보내어 반응
- 척수반사는 대뇌 중추에 정보를 입력할 필요 없이 척수에서 통합
- 간단한 척수반사도 뇌로 감각정보를 보내어 자극에 대해 지각 또는 인식
- 감각정보는 상행로를 따라 몸에서 뇌로 전달 → 운동: 대뇌와 소뇌가 조절

운동계는 중추신경계에서 나오는 출력정보를 관리한다

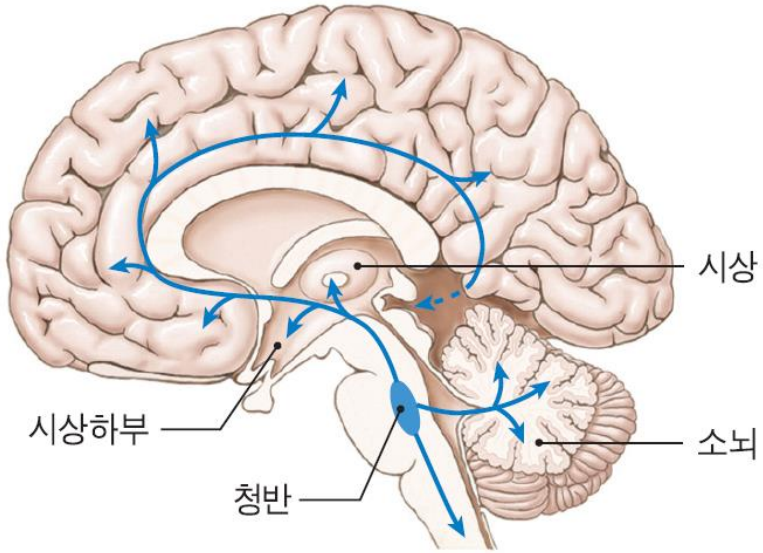
운동정보의 출력은 크게 세 가지로 분류

- 골격근운동: 신체운동계에 의해 제어
- 신경내분비신호: 시상하부와 신경에 의해 조절
- 내장: 자율신경계에 의해 제어

수의성 운동: 대뇌 전두엽의 1차 운동피질, 운동연합에서 시작

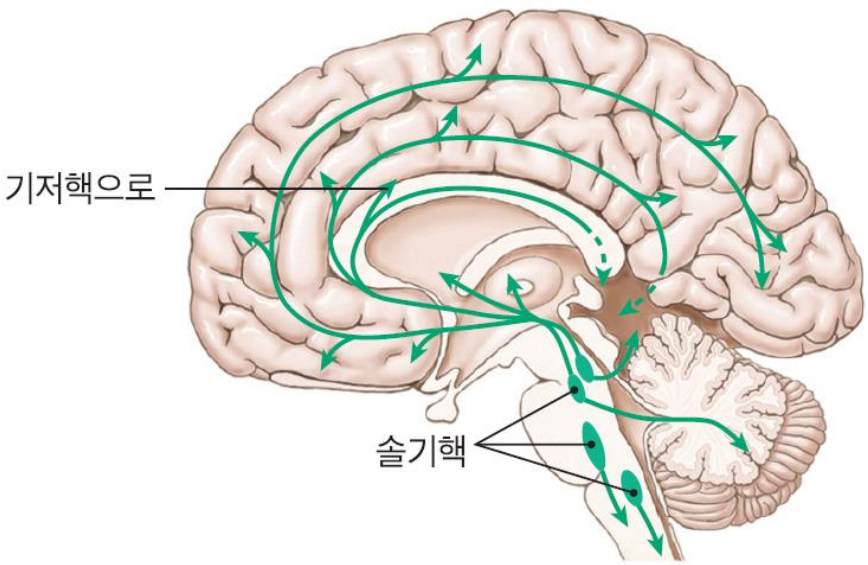
행동상태계는 움직임에 대한 출력 정도를 조절한다

(a) 노르아드레날린계 (노르에피네프린)



기 능:	주의력, 각성, 수면주기, 학습, 기억, 걱정, 통증, 기분
해당 뉴런이 시작되는 곳:	교뇌의 청반(locus coeruleus)
해당 뉴런의 말단:	대뇌피질, 시상, 시상하부, 후각망울, 소뇌, 중뇌 , 척수

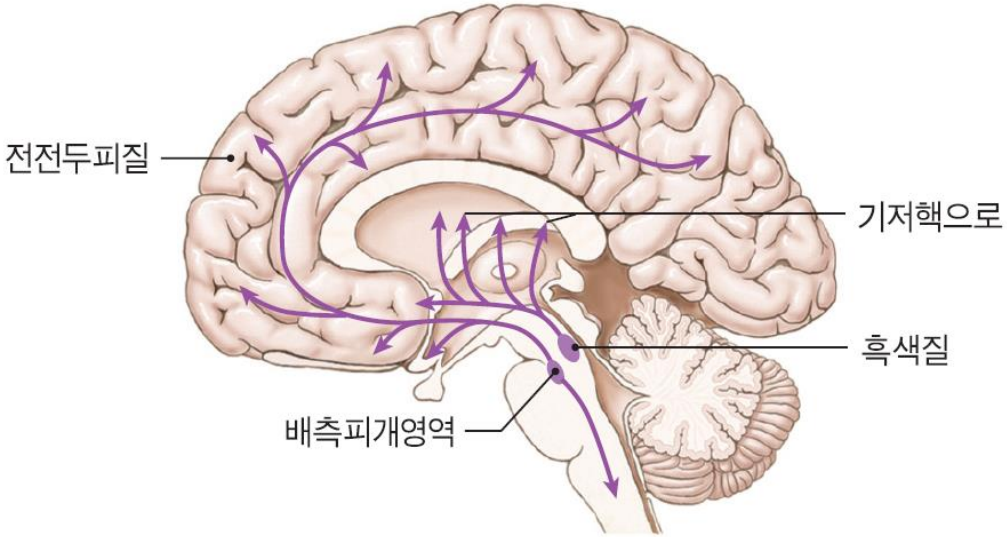
(b) 세로토닌계 (세로토닌)



기 능:	1. 하위 신경핵: 통증, 움직임, 2. 상위 신경핵: 수면주기, 기분, 감정적 행동-공격성이나 우울증
해당 뉴런이 시작되는 곳:	뇌줄기 가운데를 따라 있는 솔기핵
해당 뉴런의 말단:	1. 척수로 뻗는 하위 신경핵-척수 2. 상위 신경핵-거의 뇌 전체 부분

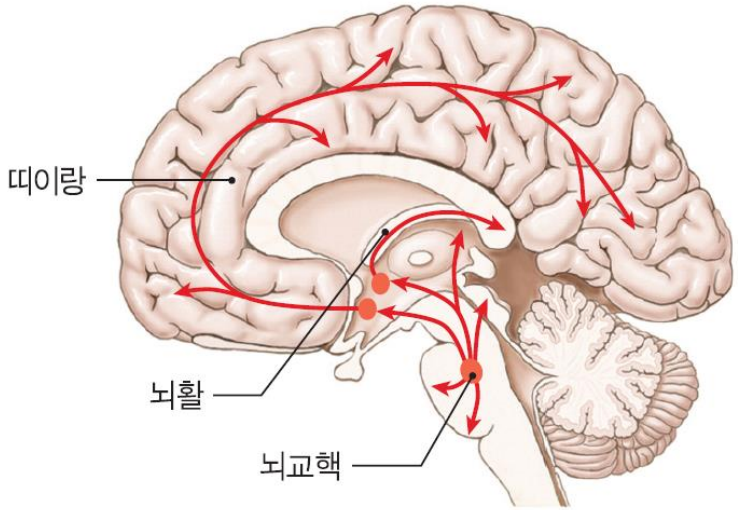
행동상태계는 움직임에 대한 출력 정도를 조절한다

(c) 도파민계 (도파민)



기 능:	1. 움직임 조절 2. 중독행동과 관련된 '보상' 중추
해당 뉴런이 시작되는 곳:	1. 중뇌의 흑색질 2. 중뇌의 배측피개영역(ventral tegmentum)
해당 뉴런의 말단:	1. 대뇌피질 2. 대뇌피질과 변연계 일부

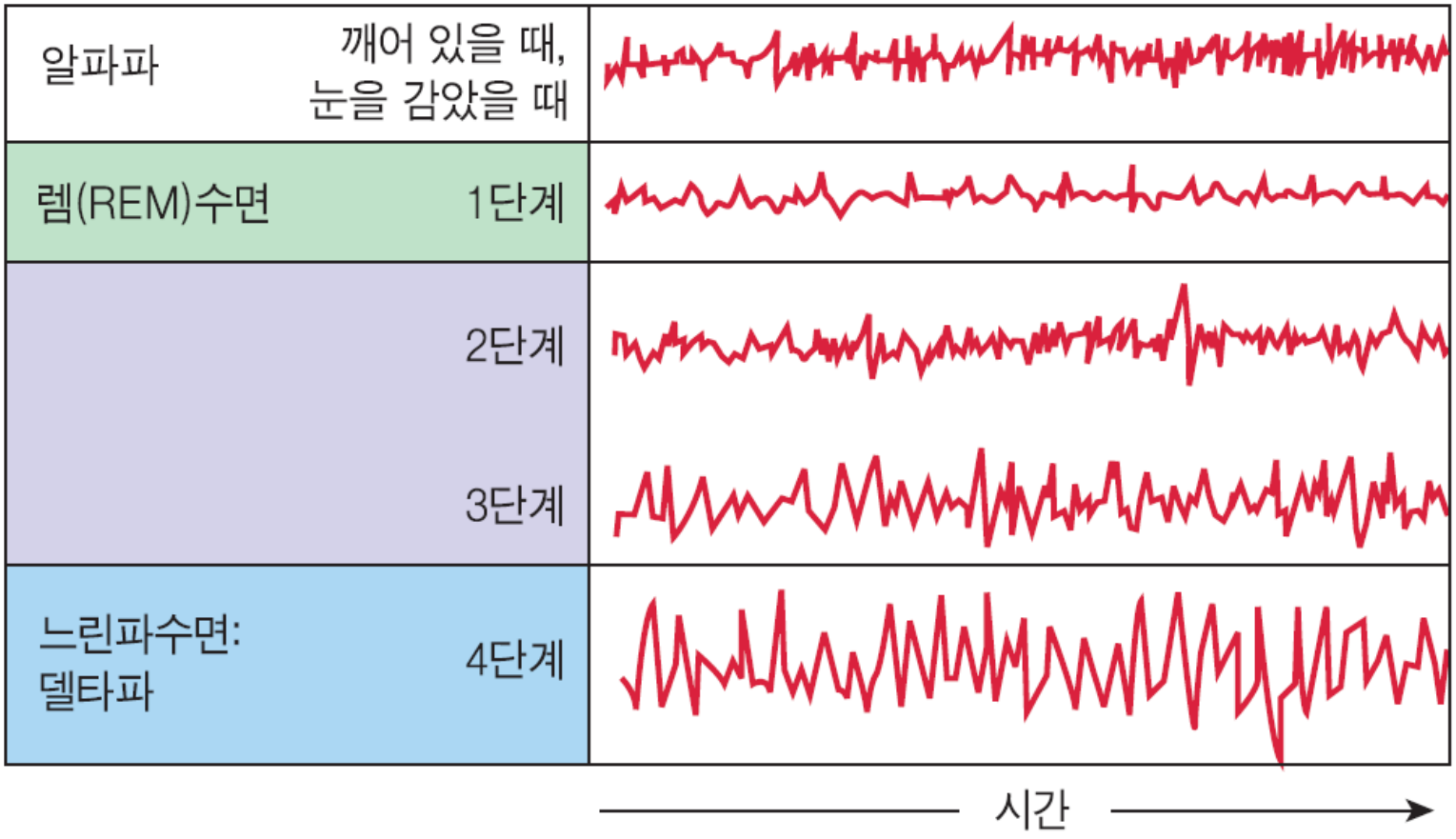
(d) 콜린계 (아세틸콜린)



기 능:	수면주기, 각성, 학습, 기억, 시상을 지나는 감각정보
해당 뉴런이 시작되는 곳:	대뇌 기저부; 교뇌와 중뇌
해당 뉴런의 말단:	대뇌, 해마, 시상

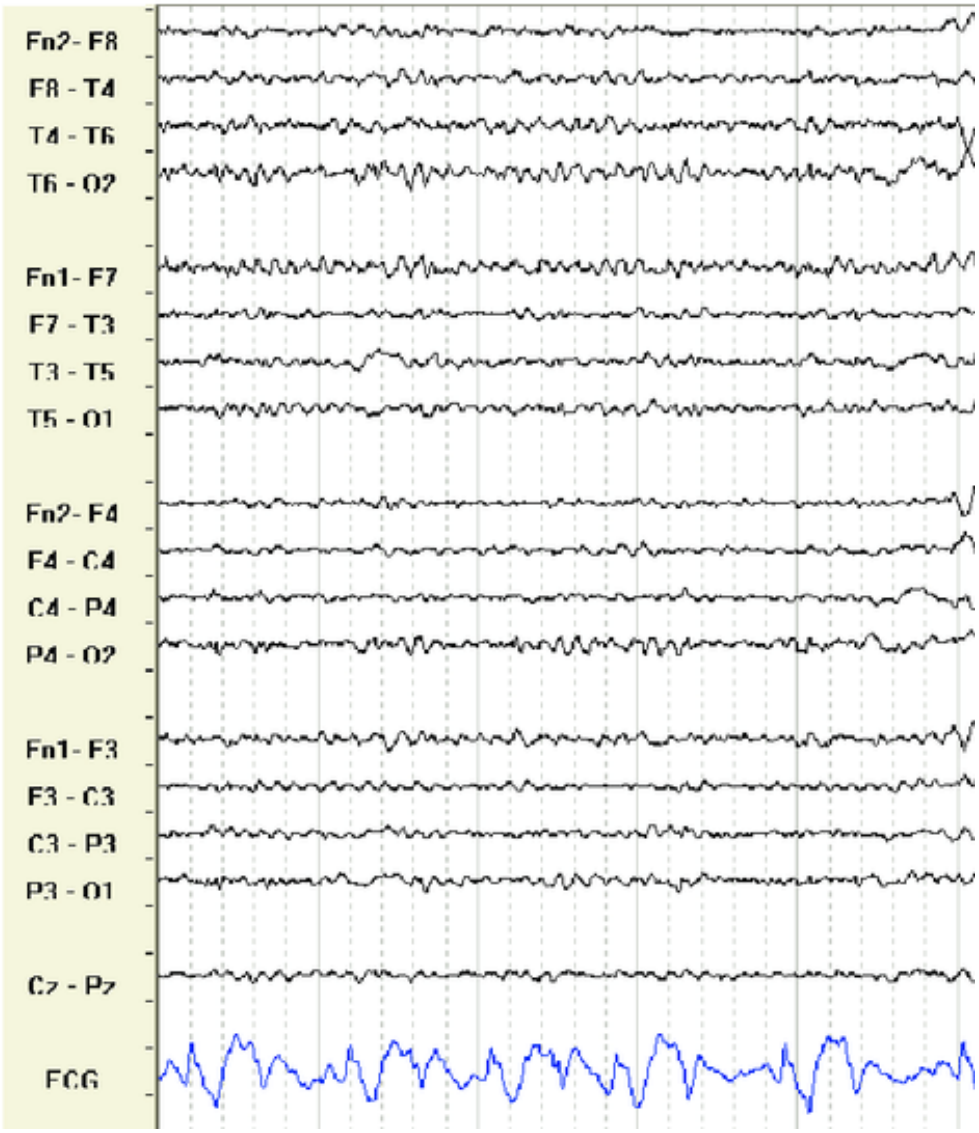
왜 우리는 잠을 잘까

(a) 깨어 있을 때와 잘 때의 뇌의 전기적 활동에 대한 기록은 특징적인 패턴을 보여준다.



왜 우리는 잠을 잘까



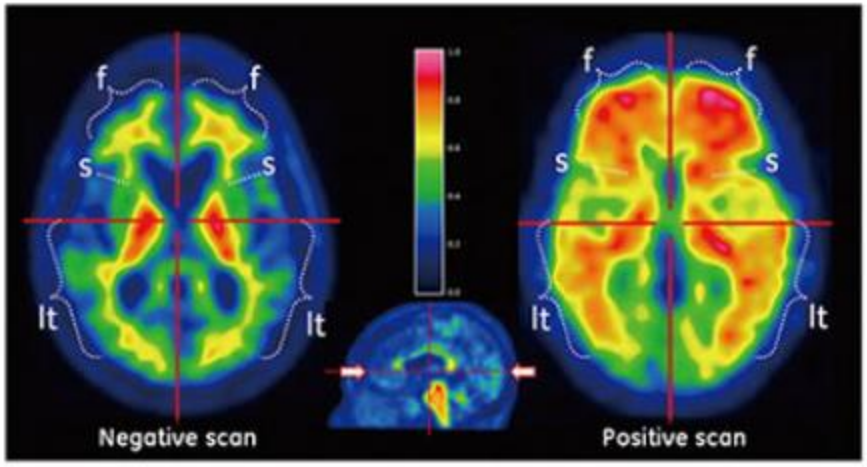

Fn2- F8
F8 - T4
T4 - T6
T6 - O2
Fn1- F7
F7 - T3
T3 - T5
T5 - O1
Fn2- F4
F4 - C4
C4 - P4
P4 - O2
Fn1- F3
F3 - C3
C3 - P3
P3 - O1
Cz - Pz
ECG

학습은 지식의 습득이다

- 학습과 기억의엔 뉴런간 연결이 중요
- 연합학습: 중립자극과 조건자극이 연결되었을 때
  예) 파블로프의 개 실험
- 비연합학습: 한 자극에 대해 반복적으로 노출될 때
  습관화: 반복되는 자극에 감소된 반응
  민감화: 자극에 좀더 민감하게 반응

기억은 정보를 보관하고 다시 생각해낼 수 있는 능력이다

기억: 정보를 간직하고 다시 생각해내는 능력
- 단기기억과 장기기억
- 반사성(자동성)기억과 서술성(명시적)기억
- 자기공명영상(MRI), 양전자방출단층촬영술(PET)



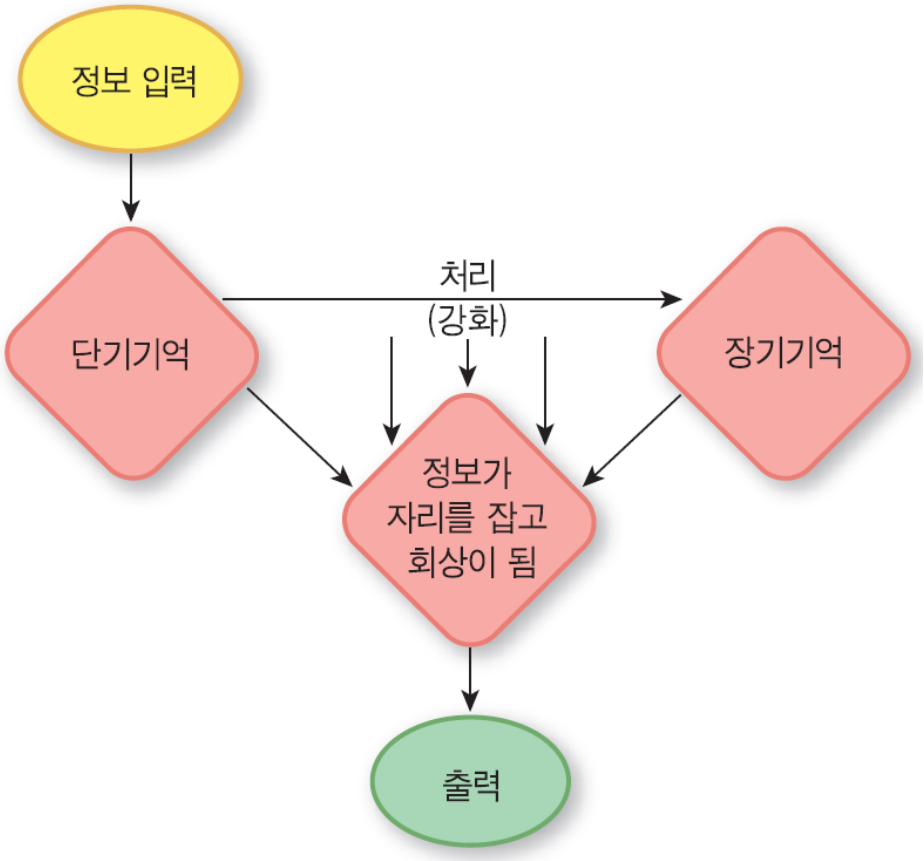
(왼쪽) Negative Scan(음성 스캔)
푸른색과 초록색은 베타아밀로이드의 밀도가 낮다는 것을 의미하며, 알츠하이머성 치매의 가능성이 낮다는 것을 보여준다.

(오른쪽) Positive Scan(양성 스캔)
주황색과 붉은색은 베타아밀로이드의 밀도가 높다는 것을 의미하며, 알츠하이머성 치매의 가능성이 높다는 것을 보여준다.

기억은 정보를 보관하고 다시 생각해낼 수 있는 능력이다

해마: 학습과 기억을 담당하는 뇌의 부분

- 해마가 손상된 환자는 새로운 정보를 기억하지 못함
- 전향적 기억상실증



기억은 정보를 보관하고 다시 생각해낼 수 있는 능력이다

단기기억: 한번에 7-12개 정도의 정보를 지닐 수 있는 제한된 정보의 저장형태

- 영구한 형태로 만들기 위한 반복과 같은 노력이 필요

작업기억: 전전두엽에서 처리되는 특별한 형태의 단기기억

- 새로운 정보가 습득된 후 작업에 사용할 수 있도록 충분히 긴 시간동안 가지고 있음

장기기억: 방대한 양의 정보를 지닐 수 있는 저장 영역

기억은 정보를 보관하고 다시 생각해낼 수 있는 능력이다

- 강화: 단기기억 → 장기기억
- 시냅스 형성되고 전달의 효율성이 높아지면서 장기기억 형성

표 9-4 장기기억의 유형

반사성 (암묵적) 기억	서술성 (명시적) 기억
상기하는 것은 자동적으로 되며 의식적인 집중을 요하지 않는다.	상기하는 것은 의식적인 집중을 요한다.
반복을 통해 천천히 획득된다.	추리, 비교, 평가 등의 고급 사고에 의존한다.
운동 기술과 규칙과 절차를 포함한다.	기억은 구두로 보고될 수 있다.
절차에 대한 기억은 실례로 재현될 수 있다.	

언어는 가장 정교한 인지 행동이다

베르니케 영역: 눈이나 귀로 들은 정보와 단어의 뜻을 연결하는 부위

- 두정엽, 측두엽, 후두엽의 교차점
- 수용성 실어증

브로카 영역: 단어를 배열하여 문법적으로 문장을 완성

- 운동피질에 가까운 전두엽 후부
- 표현실어증