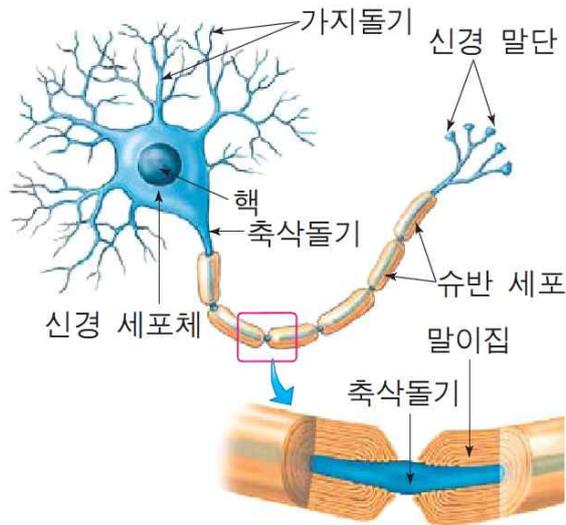


## Part 3. 항상성과 몸의 조절

### 4. 자극의 전달

#### ★ [뉴런의 구조와 구분] ★

**뉴런(Neuron)**은 우리말로 번역하면 신경세포이다. 우리 몸은 자극을 받아들이고, 뇌에서 정보를 처리하여 명령하고, 이것을 반응 기관에 전달하기 위해서 신경계가 발달 되어 있는데 이 신경계를 구성하는 세포를 바로 뉴런이라고 부른다. 뉴런의 구조는 다음과 같다.



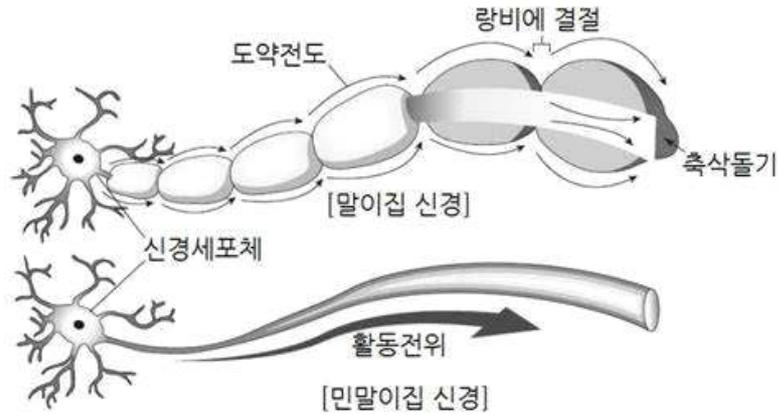
**신경 세포체**는 뉴런의 물질대사가 주로 일어나는 위치로 핵이 존재한다.

**가지돌기**는 다른 뉴런으로부터 발생한 신호를 받아들이는 부분이다. 대부분의 뉴런에서 신경 세포체 주위를 둘러싸고 있다.

이렇게 가지돌기로 전달받은 자극 신호는 뒤의 긴 꼬리인 **축삭돌기**를 따라 신경 말단으로 이동한다. 또한 축삭돌기와 다음 뉴런의 가지돌기 사이에는 작은 틈이 있는데 이를 **시냅스**라고 부른다.

위의 그림처럼 축삭돌기에 무언가 말려서 감겨 있는 뉴런을 **말이집 신경**이라고 부르고, 그렇지 않은 뉴런을 **민말이집 신경**이라고 부른다. 그림에서 축삭돌기 주변에 말려 있는 것의 정체는 **슈반 세포**로 이 세포 역시 핵을 가지고 있다. 슈반 세포의 가장 큰 특징은 “**절연체**”라는 점인데, 평가원에서 슈반 세포를 화살표로 가리키고 전위가 발생한다고 하면 그것은 틀린 보기가 된다. 꼭 기억하자. 반면, 말이집 신경 사이는 신경 전도가 발생하며 전위가 발생하게 된다. 말이집 사이 전위가 발생하는 부분들을 **랑비에 결절**이라고 한다. 뉴런의 각

명칭과 구조를 반드시 이해하고 암기해야 한다.



말이집 신경은 랑비에 결절을 통해서 전도가 일어나기 때문에 민말이집 신경에 비해서 흥분 전도 속도가 기본적으로 빠르다. 절연체 부분인 말이집을 뛰어넘는다고 생각하면 좋다. 해당 전도 방법을 도약 전도라고 부른다. 또한 뉴런 축삭돌기의 단면 지름이 클수록 흥분 전도 속도가 빠르다. 예를 들어, 우리 몸은 고통보다 온도 변화를 더 잘 느끼는데, 그 이유가 온도를 감지하는 감각 뉴런의 지름이 더 굵어서 전도 속도가 빠르기 때문이다.

★ <기능에 따른 뉴런의 구분> ★

뉴런의 종류	기능
구심성 뉴런(감각 뉴런)	감각 기관에서 들어온 정보를 연합 뉴런에 전달한다.
원심성 뉴런(운동 뉴런)	연합 뉴런에서 내려온 명령을 반응 기관에 전달한다.
연합 뉴런	뇌와 척수에 존재하며 감각 뉴런으로부터 전달 받은 정보를 처리하고 처리 결과에 따른 명령을 운동 뉴런에 전달한다.

위의 구분에 따라서 자극의 전달 경로를 생각해 보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

“자극 → 감각 기관 → 구심성 뉴런 → 연합 뉴런 → 원심성 뉴런 → 반응 기관 → 반응”

자극이 들어오면 감각 기관에 있는 구심성 뉴런을 통해서 연합 뉴런으로 신호가 가고 신호가 처리되면 명령이 원심성 뉴런을 통해 반응 기관으로 도달하게 된다. 이후 자극에 대해서 반응한다.

★ [흥분의 전도] ★

막전위에서 준킬러 문제가 1문제씩 출제되고 있다. 문제를 풀기 위해서는 흥분의 전도와 전달이라는 개념에 대해서 완벽하게 이해하고 있어야 한다. 따라서 해당 내용을 정확하게 숙지한 이후에 뒤에서 나오는 **Key 1. 흥분의 전도와 전달**을 공부하길 바란다.

(1) 분극

자극을 받지 않아 **휴지 상태인 뉴런**은 세포막을 경계로 안쪽이 상대적으로 음(-)전하를 띠고, 바깥쪽이 상대적으로 양(+)전하를 띤다. 이때 형성되는 막전위<sup>1)</sup>를 **휴지 전위**라 한다. 수능에서는 이 휴지 전위가 **항상 -70mv로 고정**되어서 나왔지만 세포에 따라서 -60mv~-90mv로 다양하긴 하다. 나중에 -70이라는 수치는 막전위 준킬러를 풀 때도 많이 사용되는 내용이니 꼭 기억하자.

세포막에는 이온이 이동하는 **통로**와 **펌프**가 있다. **이온 통로**는 확산을 통해서 이온이 이동하며 에너지를 사용하지 않는다는 특징을 가지고  $Na^+$  통로와  $K^+$  통로가 이에 해당한다.

반면 **펌프**는 능동 수송을 통해 이온을 농도가 낮은 쪽에서 농도가 높은 쪽으로 이동시키기 때문에 ATP를 사용한다.  $Na^+ - K^+$  펌프가 그 예시이며 우리 몸 내부에서  $Na^+$ 를 바깥으로,  $K^+$ 를 안으로 이동시킨다. 펌프는 분극 상태뿐만 아니라 다른 상태에서도 항상 작동하기 때문에 다음 명제들은 어느 상태에서도 **항상 참**이다.

1. 신경 세포막에서의 이온 이동은 항상 발생한다. (:: 펌프)
2.  $Na^+$ 의 농도는 항상 바깥의 농도가 안의 농도보다 높다.
3.  $K^+$ 의 농도는 항상 안의 농도가 바깥의 농도보다 높다.

▶ 지엽 plus ◀  
[분극의 원인]

수능에서는 해당 내용이 나오지 않지만, 내신이나 서술형에서는 자주 나오는 내용이기 때문에 꼭 알아두자. “왜 분극이 생기는가?”에 대한 질문은 사실 “**왜 세포막 안쪽이 음극을 띠는가?**”에 대한 질문과 같다고 할 수 있다. 그 질문에 대한 답은 3가지가 있다.

1) 막전위 : 신경세포 바깥의 전위를 0mv로 잡았을 때, 세포 안쪽의 상대적인 전위

- ① 능동 수송을 담당하는  $Na^+ - K^+$  펌프가 작동하면 3분자의  $Na^+$ 를 바깥으로, 2분자  $K^+$ 를 안쪽으로 이동시킨다. 바깥으로 이동하는 양이온의 양이 많기에 바깥이 상대적으로 양전하, 안쪽이 상대적으로 음전하를 띤다.
- ② 분극 상태에서  $K^+$  통로가 일부 열려 있어서  $K^+$ 는 바깥으로 확산하지만,  $Na^+$ 는 모두 닫혀있기에 안으로 확산하지 못한다.
- ③ 세포 안에는 음(-)전하를 띤 단백질이 세포 밖보다 많이 존재한다.

(2) 탈분극

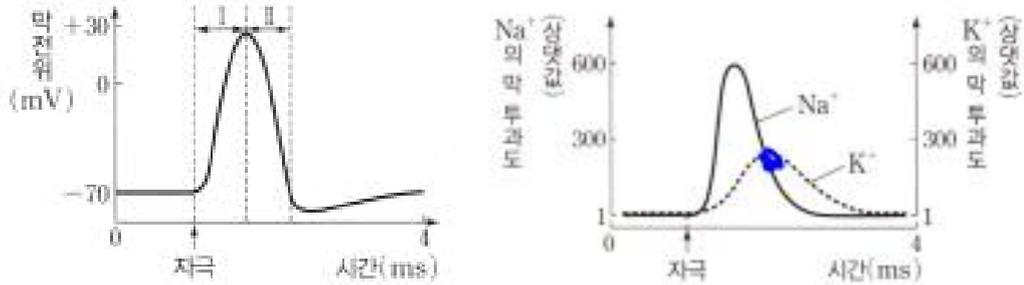
역치 이상의 자극이 주어졌을 때, 신경세포에 존재하는  $Na^+$  통로가 열리면서 세포 바깥의  $Na^+$ 가 폭발적으로 유입된다. 또 다른 말로 표현하자면  $Na^+$ 의 막 투과도<sup>2)</sup>가 커지는 것이다. 이에 따라 막전위는 상승하여 약 +30mv까지 상승하게 되는데, 휴지 전위부터 탈분극의 꼭대기 지점까지의 전위 변화를 **활동 전위**라고 부른다.

(3) 재분극

상승한 막전위가 다시 휴지 전위로 하락하기까지의 과정이다. **재분극**은  $Na^+$ 의 통로가 다시 닫히고,  $K^+$  통로가 열림에 따라  $Na^+$ 의 막 투과도는 감소하고  $K^+$ 의 막 투과도가 증가한다. 이에 따라서 세포막 내로 유입되는  $Na^+$ 가 감소하고 세포 밖으로 유출되는  $K^+$ 가 많아지기에 세포 내부의 막전위가 하락하는 재분극이 발생하게 된다. 여기서 바로 휴지전위인 -70mv로 회복되는 것이 아니라 -80mv까지 하강하였다가 휴지 전위로 회복하는 모습을 볼 수 있다. 이렇게 재분극 과정에서 -80mv까지 하강하는 현상을 **과분극**이라고 부른다.

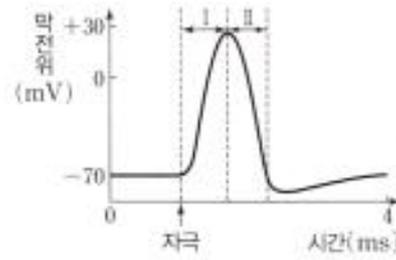
(4) 그래프 확인

막전위 부분을 학습할 때는 단순히 글자로 이해할 것이 아니라 **그래프**를 보고 특정 구간이 어디에 속하는지 판단할 수 있어야 한다.

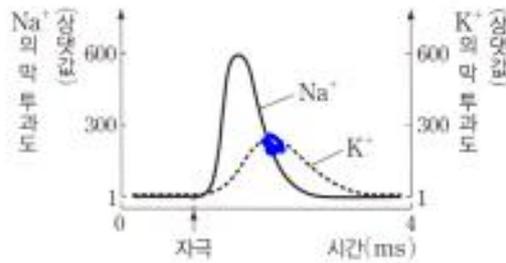


왼쪽 그래프는 막전위의 그래프를, 오른쪽 그래프는 막 투과도의 그래프이다. 각각 x축은 시간(ms)를 나타내고 세로축은 막전위와 막 투과도를 나타내고 있다.

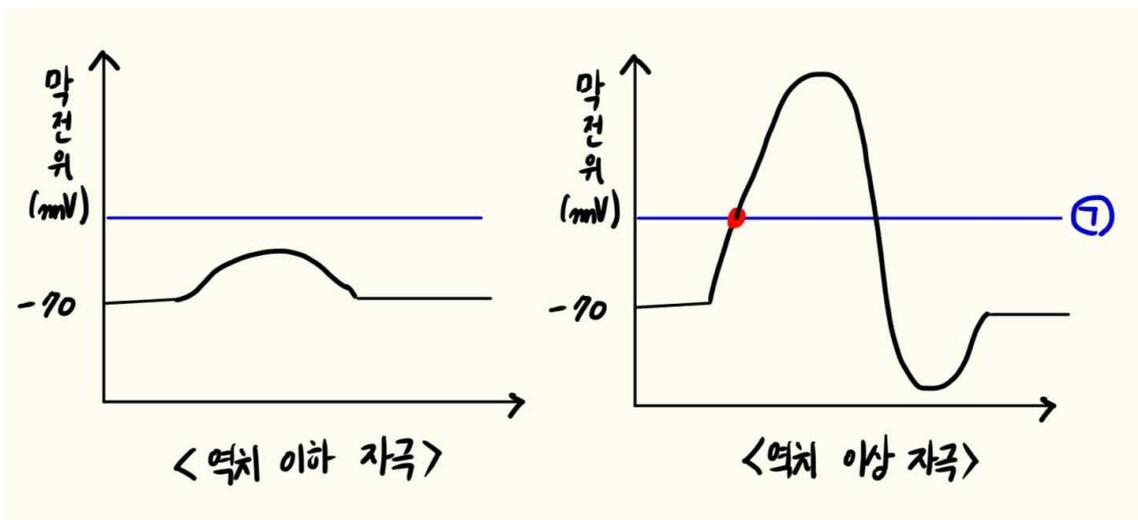
2) 막 투과도 : 세포막 사이를 투과하는 정도 = 세포막을 통해서 이동하는 이온(분자)의 양



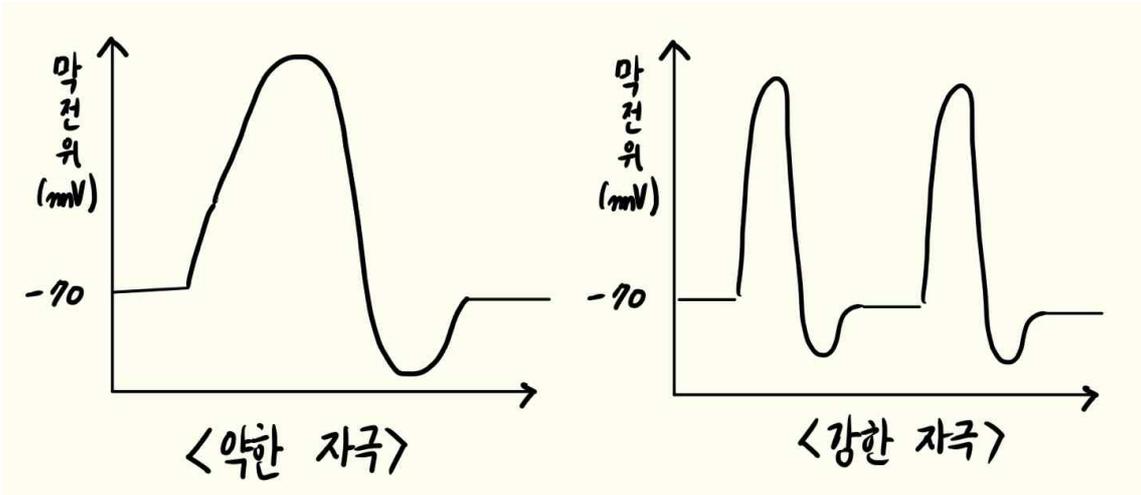
먼저 **막전위 그래프**부터 살펴보면, 시간이 0일 때,  $-70\text{mV}$ 에서 막전위 그래프가 시작하는 것을 알 수 있다. 즉 **분극 상태**이다. 이후 **★역치 이상의 자극을 주었을 때★** 막전위가  $+30\text{mV}$ 까지 상승하는 **탈분극 과정**이 일어난다(구간 I). 또한 시간이 지나면 막전위가 하강해서  $-70\text{mV}$  이하로 떨어지게 되는데 해당 과정을 **재분극 과정**이라고 볼 수 있다(구간 II).



두 번째 그래프, **막 투과도 그래프**를 살펴보자. 자극을 주었을 때  $\text{Na}^+$ 의 막 투과도가 상승함에 따라서 탈분극이 일어나고 있음을 알 수 있다. 동시에  $\text{K}^+$ 의 투과도 역시 증가하게 되고  $\text{Na}^+$ 와  $\text{K}^+$ 가 **겹치는 부분**(점으로 표시)부터는  $\text{K}^+$ 의 유출이 더 많아지기 때문에 막전위가 감소하기 시작하는, **막전위 그래프에서 극댓값인  $+30\text{mV}$** 를 형성하는 부분이라는 것을 알 수 있다.



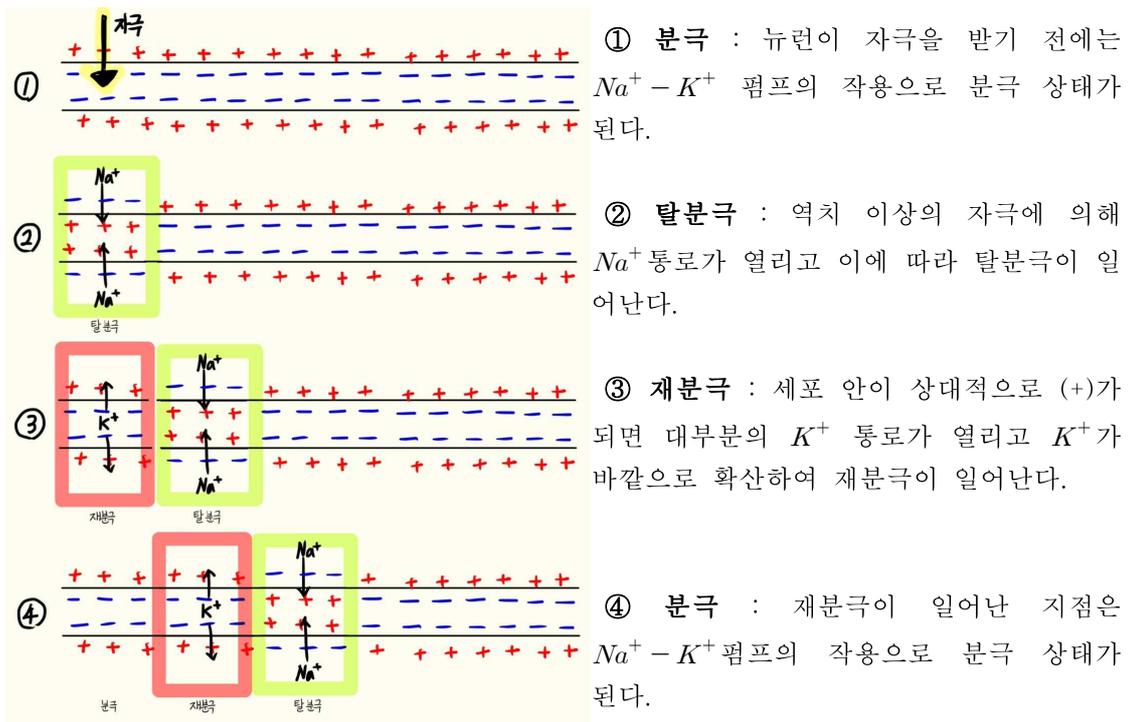
앞서서 역치 이상의 자극이라는 조건에 ★를 해놓았는데 그 이유가 여기 있다. “**역치 이상의 자극**”이 주어졌을 때는 활동 전위가 발생하지만 **그렇지 않은 상황에서는 활동 전위가 발생하지 않는다는 사실**을 알아야 한다. 자극의 크기가 역치 이상이 아닌 경우 잠시 막전위가 올라가려다가 말아버린다.



또한 우리 몸이 자극의 세기가 강한 것과 약한 것을 구분할 때, “단위 시간당 막전위의 발생 횟수”로 구분한다. 절대 자극의 세기가 세다고 막전위의 크기가 커지거나 +30mV를 뚫고 올라가는 것이 아니라 단위 시간당 막전위의 발생 횟수가 증가할 뿐이다. 위 사진을 통해서 이해해보자.

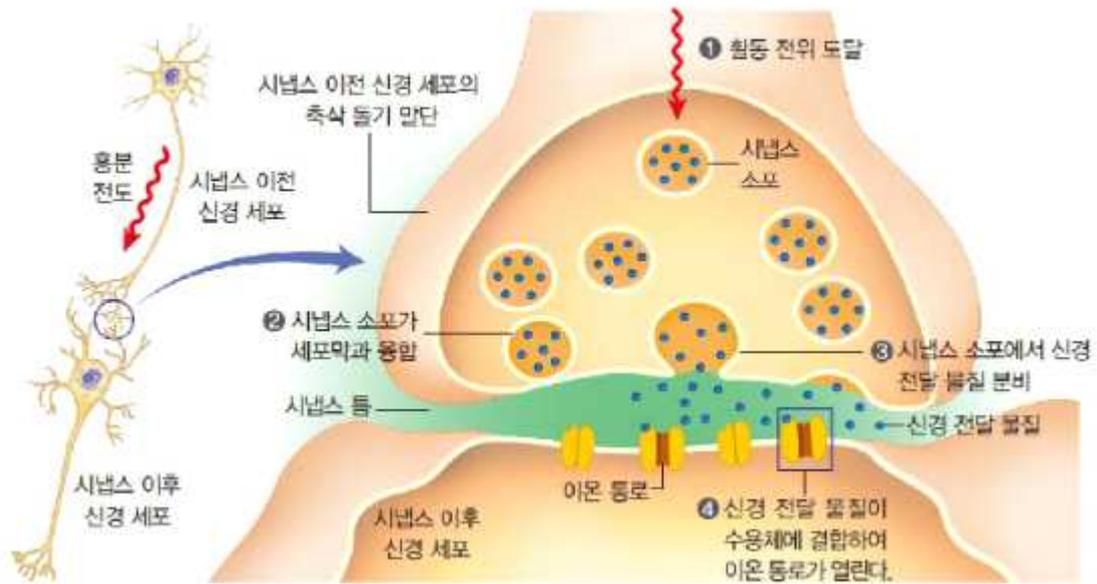
흥분 전도는 여러 가지 특징이 있지만 뉴런의 특정 지점에 자극을 주었을 때 흥분의 전도는 양방향성을 가진다는 사실을 반드시 기억하고 있어야 한다. 왜냐하면 곧 배울 흥분의 전달은 단방향성을 가지기 때문에 둘의 특징을 살려서 풀어내는 문제가 막전위에 출제되기 때문이다.

마지막으로 흥분의 전도 과정을 그림을 통해 시각적으로 이해해보자.



★ [흥분의 전달] ★

**흥분의 전달** 과정을 설명하기에 앞서서 몇 가지 알아야 할 점들이 있다. 먼저 흥분의 전도는 하나의 신경세포 내의 신호 전달이라면 흥분의 전달은 둘 이상의 신경세포 간의 신호 전달이라고 할 수 있다. 뉴런의 축삭돌기와 다음 뉴런의 축삭돌기 사이에는 작은 틈 (약 20nm 정도 되는)이 있는데 이를 **시냅스**라고 한다. 하나의 뉴런이 다수의 뉴런과 시냅스를 형성하기도 한다. 시냅스를 기준으로 흥분을 전달하는 뉴런, 즉 축삭돌기 쪽이 있는 뉴런을 시냅스 이전 뉴런이라 하고, 흥분을 전달받는 뉴런, 즉 가지돌기 쪽이 있는 뉴런을 시냅스 이후 뉴런이라 한다.



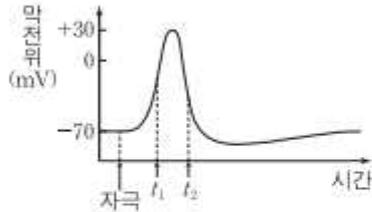
시냅스 이전 뉴런의 말단에 흥분이 도달했다고 해보자. 원래 시냅스의 말단에는 **시냅스 소포**라는 주머니 안에 **신경 전달 물질**들이 저장되어 있다. 그런데 뉴런의 말단에 흥분이 도달하면, 시냅스 소포는 신경 세포의 세포막과 융합을 하게 되고, 그 과정에서 신경 전달 물질들이 **시냅스 틈으로 확산**한다. 확산한 신경 전달 물질들은 시냅스 이후 뉴런의 **신경 전달 물질 수용체**에 결합하고 이에 따라 시냅스 이후 뉴런의 이온 통로가 열리면서 시냅스 이후 뉴런에서 **탈분극**이 일어나게 된다.

시냅스 소포는 축삭돌기 말단에만 존재하기 때문에 흥분의 전달은 항상 시냅스 이전 뉴런의 축삭돌기 말단에서 시냅스 이후 뉴런의 가지돌기 방향으로만 일어날 수 있다. 간단하게 **축삭돌기 → 가지돌기**는 가능한데 **가지돌기 → 축삭돌기**는 불가능하다. 이를 흥분 전달의 **일방향성**이라고도 한다.

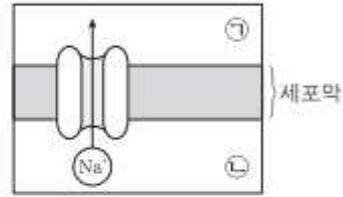
신경 전도 파트에서는 비킬러 문제가 잘 출제되지 않기는 하나, 출제 빈도가 매우 낮은 것은 아니기에 개념 학습을 꼼꼼하게 하자. 막전위 파트에서 준킬러 문제를 출제하지 않고 개념 문제를 냈다면, 해당 시험지는 다른 변별 요소들로 가지고 학생들을 변별할 것이다.(아마도 뒤에 다른 문제들이 평소보다 어렵게 출제되었을 가능성이 높다.) 간단한 자극의 전달 문제 2개를 함께 풀어보자.

[19.06.07]

7. 그림 (가)는 어떤 뉴런에 역치 이상의 자극을 주었을 때 이 뉴런의 축삭 돌기 한 지점에서 측정한 막전위 변화를, (나)는  $t_1$ 일 때 이 지점에서  $Na^+$  통로를 통한  $Na^+$ 의 확산을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 세포 안과 세포 밖 중 하나이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 > —
- ㄱ.  $Na^+$ 의 막투과도는  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때보다 크다.
  - ㄴ.  $t_2$ 일 때  $K^+$ 은  $K^+$  통로를 통해 ㉠에서 ㉡으로 확산된다.
  - ㄷ.  $t_2$ 일 때 이온의  $\frac{\text{㉡에서의 농도}}{\text{㉠에서의 농도}}$ 는  $K^+$ 이  $Na^+$ 보다 크다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

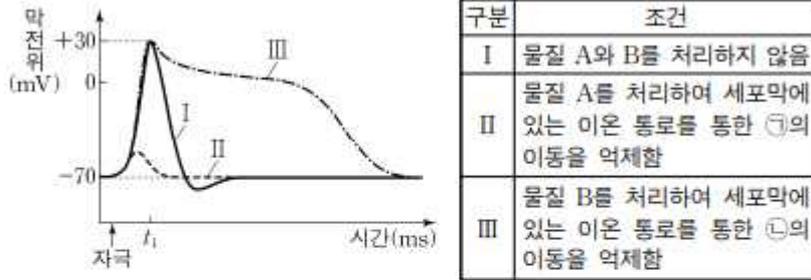
(가)에서 역치 이상 자극을 주었을 때 막전위 그래프를 주었고 (나)는  $Na^+$  통로에 대한 그림을 주었다. (가) 정보 먼저 해석해보자. 일단 자극을 주었는데 활동 전위가 발생했으니 역치 이상의 자극을 주었겠고,  $t_1$ 은 막전위가 증가하는 시점을 말하니 탈분극에 해당하는 시점이겠고,  $t_2$ 는 막전위가 감소하는 시점을 말하니 재분극에 해당하는 시점이겠다. (나)를 해석해보면  $Na^+$  통로는  $Na^+$  이온을 바깥에서 안으로 이동시키니 ㉠이 세포 안, ㉡세포 밖이다.

- ㄱ.  $Na^+$ 의 막 투과도는  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때보다 당연히 크다. 재분극 상태보다는 탈분극 상태에서  $Na^+$  막 투과도가 크다.
- ㄴ.  $t_2$ 일 때  $K^+$ 은  $K^+$  통로를 통해 ㉠(세포 안)에서 ㉡(세포 밖)으로 이동한다.
- ㄷ.  $t_2$ 일 때 이온의  $\frac{\text{ㄴ에서의 농도}}{\text{ㄱ에서의 농도}}$ 는  $K^+$ 가  $Na^+$ 보다 크냐고 물어보고 있다.

Tip 우선 이런 문제를 풀어내는 팁은 분수로 비교하는 꼴이 나왔을 때 “분모와 분자가 반대로 움직이면 하나만 비교해도 된다는 것이다.” 예를 들어 해당 문제에서 이온의 ㉠(세포 안)에서의 농도가 증가하면 ㉡(세포 밖)의 농도는 감소하게 된다. 따라서 ㉠과 ㉡에서의 이온 농도는 서로 반대 관계이기 때문에 우리는 분자인 ㉡(세포 밖)에서의 이온 농도만 비교하면 된다. 세포 밖에서는  $Na^+$ 이 항상 더 많기 때문에 틀렸다고 판단할 수 있다.

[24.06.05]

5. 그림은 조건 I~III에서 뉴런 P의 한 지점에 역치 이상의 자극을 주고 측정한 시간에 따른 막전위를 나타낸 것이고, 표는 I~III에 대한 자료이다. ㉠과 ㉡은  $\text{Na}^+$ 과  $\text{K}^+$ 을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 조건 이외는 고려하지 않는다.) [3점]

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은  $\text{Na}^+$ 이다.  
 ㄴ.  $t_1$ 일 때, I에서 ㉡의  $\frac{\text{세포 안의 농도}}{\text{세포 밖의 농도}}$ 는 1보다 작다.  
 ㄷ. 막전위가 +30mV에서 -70mV가 되는 데 걸리는 시간은 III에서가 I에서보다 짧다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄴ, ㄷ

[24.06.05]는 다른 문제와 다르게 정상적인 사람에게 약물을 투여하고 있다. 하나는  $\text{Na}^+$ 의 이온 통로를 차단하고, 다른 하나는  $\text{K}^+$ 의 이온 통로를 차단하고 있다. 먼저  $\text{Na}^+$ 의 이온 통로를 차단하게 되면 활동 전위가 발생할 수 없어 역치 이상의 자극이 주어져도 막전위가 잠시 올라갔다 내려오는 형태가 된다. 즉 II에 해당한다. 또한  $\text{K}^+$ 의 이온 통로를 차단하게 되면 활동 전위는 발생하지만 재분극이 잘 일어나지 않아서 막전위가 분극상태로 돌아가는데 많은 시간이 소요된다. 그것은 III에 해당한다. 이렇게 특정 약물을 투여하는 문제가 나왔을 때는, 각 그래프가 어느 사람일지 끼워 맞춰서 추론하는 것보다는 각각의 약물을 투여했을 때 어떠한 상황이 펼쳐질지 먼저 머릿속으로 정리하고 문제를 해결하는 것이 좋다. 자세한 약물 투여 문항 판단법은 <Summary>에 추가로 수록해두겠다.

ㄱ. ㉠은  $\text{Na}^+$ 이다.  
 ㄴ.  $t_1$ 일 때, I에서 ㉡( $\text{K}^+$ )의  $\frac{\text{세포 안의 농도}}{\text{세포 밖의 농도}}$ 를 묻고 있는데  $\text{K}^+$  농도는 안쪽이 항상 크기 때문에 1보다 크다.  
 ㄷ. 막전위가 +30mV에서 -70mV가 되는데 걸리는 시간은 III에서가 I에서보다 길다.  $\text{K}^+$  이온 통로가 억제되어 재분극이 잘 일어나지 않기 때문에 더 많은 시간이 소요된다고 추론할 수 있다.