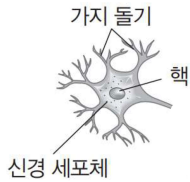


1. 뉴런의 구조

기본적인 구조는 신호를 받아들이는 부분, 신호를 이동시키는 부분, 신호를 다른 세포로 전달하는 부분으로 구성되며 이는 각각 가지 돌기, 축삭 돌기, 축삭 돌기 말단에 해당한다.

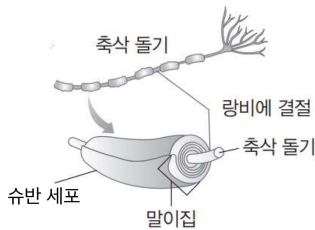
뉴런은 기능과 위치에 따라 매우 다양한 구조를 갖지만 대체로 신호 전달과 관련된 가지 돌기와 축삭 돌기, 생명 활동과 관련된 신경 세포체는 기본으로 갖는다.

가지 돌기의 구조



슈반 세포와 말미집

슈반 세포는 뉴런의 기능을 보조하는 세포로, 뉴런의 축삭 돌기를 둘러싼 말미집을 형성한다. 말미집에서는 흥분이 발생하지 않는다.



흥분

자극에 따라 발생하는 감각 세포나 신경 단위의 변화

시냅스의 어원

‘함께’를 뜻하는 syn과 ‘결합하다’를 뜻하는 ‘haptein’의 합성어 (synapse) 이다.

① 신경 세포체

크기는 전체 세포 부피의 1/10 정도거나 더 작지만 핵, 미토콘드리아와 같은 생명 활동의 중추가 되는 세포 소기관을 가져 뉴런에 필요한 물질과 에너지를 생성하며, 뉴런의 생명 활동을 조절한다.

② 가지 돌기

다른 뉴런이나 세포로부터 자극을 전달받는다.
신경 세포체를 중심으로 나뭇가지 모양으로 여러 개의 돌기가 뻗은 모양이다.
가장 간단한 뉴런들은 단 하나의 가지돌기를 갖기도 하나 뇌에 있는 뉴런은 굉장히 복잡한 형태의 많은 가지 돌기를 갖는다.

③ 축삭 돌기

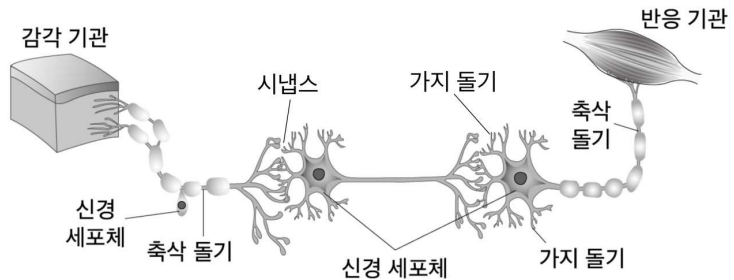
흥분을 다른 뉴런이나 세포로 전달한다.
구체적으로 뉴런의 정보를 통합하는 중추로부터 축삭 말단까지 외부로 나가는 전기 신호를 전달한다.

④ 랑비에 결절

축삭 돌기 중 말미집이 없이 노출된 부분으로 흥분이 발생한다. (※ 이온 간 교환이 일어난다.)
반대로 말미집에 의해 절연된 축삭 돌기 부분에서는 흥분이 발생하지 않는다.

⑤ 시냅스

뉴런 간 접촉되어 흥분을 전달하는(받는) 부위



[Remark 1] 신경계를 구성하는 뉴런은 신경 세포이며, 축삭 돌기를 구성하는 말미집도 세포이다. [이전 교육과정]에서 뉴런은 세포, 혈액은 조직임을 함정 선지로 질문하곤 하였다. ([현 교육과정]에서 세포, 조직, 기관 등의 구분은 생명과학2로 이동하였다.)

[Remark 2] 뉴런과 시냅스는 필자가 공부했던 인체생리학 서적(7판)의 표지이기도 하며, 저명하신 선생님의 교재명으로도 사용된다. 유전과 더불어 인체의 신비를 엿볼 수 있는 파트로 여겨지며 이를 방증하듯 생명과학1 교과목에서 킬러 문항은 대체로 유전과 신경에서 출제된다.

본 교재의 저작권은 이셋별에게 있습니다.
이미 출간이 예정된 Present 생명과학1 출간물의 일부입니다.

[Common Sense - 시냅스의 형성]

축삭 말단이 표적 세포와 만나는 부분을 **시냅스**, 축삭 말단이 표적 세포와 만나는 작은 공간을 **시냅스 틈**이라 하며, 시냅스 틈은 그림 상 마치 빈 공간처럼 나타내어지지만, 두 세포를 지지하는 세포 외 기질들로 채워져 있다.

축삭이 신호를 전달할 표적 세포에 도달하게 되면 시냅스가 형성된다. 이러한 시냅스의 형성은 **뇌의 성장**과 직결되어 있다. 즉, 뇌의 성장은 세포 수 증가가 아니라 축삭 돌기와 가지 돌기, 시냅스의 수와 크기에 의해 결정된다.

따라서 감각 정보의 자극이 소홀하거나 주어지지 않은 유아들은 신경계의 자극이 결핍되어 발생이 늦어지게 되며, 그에 따라 걷기 전부터 미술, 음악, 외국어 등의 자극을 유아기에 접하게 하는 것은 뇌의 성장에 영향을 줌에 따라 지적 능력에 도움을 줄 수 있다.

그러나 시냅스의 형성은 고정된 작용이 아니며, 전기적 활성이 변하면 시냅스 연결이 재배치될 수 있고 이러한 과정은 평생 계속 진행된다. 그에 따라 시냅스를 유지하게 하는 것, 나이가 있는 성인들에게도 새로운 기술이나 정보 습득은 성인기의 지적 능력에 도움을 줄 수 있다.

2. 뉴런의 종류

말이집의 유무나 기능에 따라 분류할 수 있다.

[분류 기준 ①] 말이집 유무

축삭 돌기에 말이집이 없는 **민말이집 뉴런**과
 축삭 돌기의 일부가 말이집으로 싸여 있는 **말이집 뉴런**이 있다.

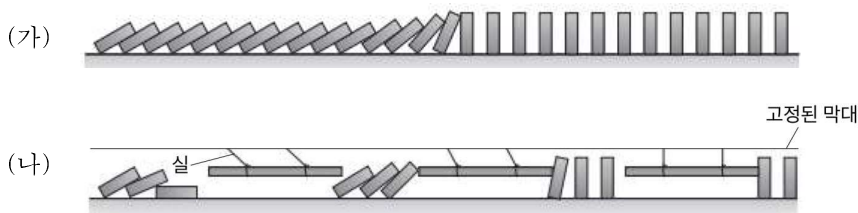
㉠ 민말이집 뉴런

축삭 돌기의 전체에서 흥분이 발생한다.

㉡ 말이집 뉴런

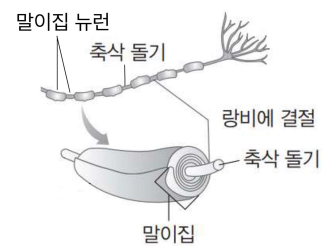
랑비에 결절에서'만' 흥분이 발생한다.
 (= 도약 전도가 일어난다.)

도약 전도가 일어남에 따라 말이집 뉴런이 도약 전도가 일어나지 않는 민말이집 뉴런보다 흥분 전도 속도가 빠르다. 이는 다음과 같이 도미노로 설명된다.



동시에 시작 도미노 팻말을 넘어트렸을 때 일반적인 도미노 (가)보다 실로 고정된 팻말이 있는 변형 도미노 (나)에서 마지막 도미노 팻말이 먼저 넘어지게 되는 것과 같은 원리이다.

말이집 뉴런과 랑비에 결절



도약 전도

랑비에 결절에서 연속적으로 흥분이 발생해 흥분이 전도되는 현상

[Remark] 뉴런을 간단하게 표현하는 그림에서는 말이집이 생략되어 있기도 하니 주의하자.

본 교재의 저작권은 이셋별에게 있습니다.

이미 출간이 예정된 Present 생명과학1 출간물의 일부입니다.

[분류 기준 ②] 기능

구심성 뉴런(감각 뉴런), 원심성 뉴런(운동 뉴런), 연합 뉴런으로 분류된다.

㉠ 구심성 뉴런 (감각 뉴런)

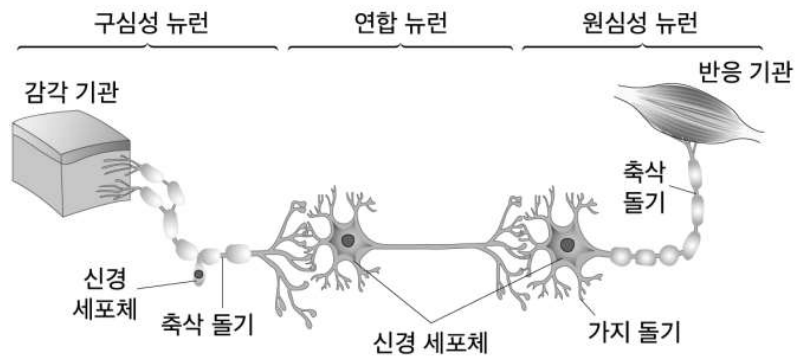
몸 안팎에 존재하는 여러 가지 자극을 받아들인 감각 기관으로부터 발생한 흥분을 연합 뉴런으로 전달하거나, 구심성 뉴런이 직접 자극을 받아들여 연합 뉴런으로 전달한다. 가지 돌기가 비교적 긴 편이고 신경 세포체가 축삭 돌기의 끝부분이 아닌 중간 부분에 있다. 중추 신경계를 향해 흥분이 이동하므로 구심성 뉴런이라고도 한다

㉡ 원심성 뉴런 (운동 뉴런)

연합 뉴런으로부터 반응 명령을 전달받아 근육과 같은 반응 기관으로 흥분을 전달한다. 길게 발달된 축삭 돌기의 말단은 반응 기관에 분포하며, 신경 세포체가 비교적 크게 발달되어 있다. 중추 신경계에서 전달된 흥분이 반응 기관을 향해 이동하므로 원심성 뉴런이라고도 한다.

㉢ 연합 뉴런 (운동 뉴런)

구심성 뉴런과 원심성 뉴런을 연결하는 뉴런으로 뇌와 척수에 존재한다. 구심성 뉴런으로부터 흥분을 전달받아 정보를 처리하고 처리 결과에 따른 명령을 원심성 뉴런에 전달한다.



발생

다세포 진핵생물에서 수정란이 세포 분열과 분화를 통해 하나의 개체가 되는 과정

발생과 줄기 세포

본 내용에 연계된 내용으로 Present[선물] 생명과학2에서 다룬다.

생명과학1이 인체 생리와 개인 간 유전을 중점으로 다룬다면 생명과학2는 분자와 세포, 유전자, 집단 수준의 유전을 다룬다.

[Common Sense - 뉴런과 줄기 세포]

유아기와 청소년기에는 뉴런이 성장하는 시기로 손상을 입더라도 복구될 수 있지만 성인기의 뉴런은 손상을 입을 경우 치명적인 영향을 미칠 수 있다.

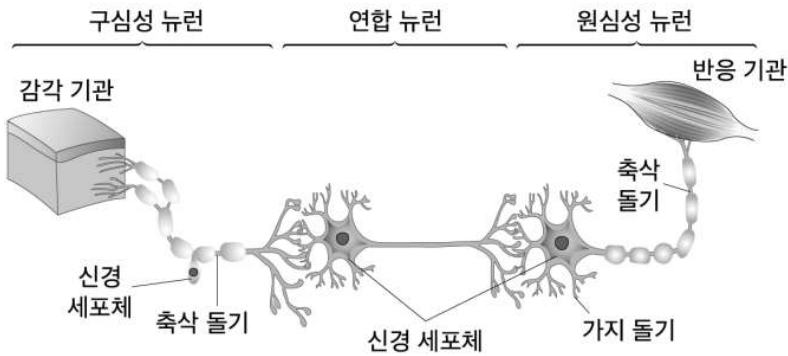
발생 과정에서 미분화 세포들은 세포 분화가 일어나며 혈구, 근육, 상피 세포와 같이 구조적이나 기능적으로 뚜렷한 다른 세포가 된다. 그런데 발생 과정에서 분화되지 않은 상태로 남아있는 세포인 신경 줄기 세포를 발견하게 되며, 기존 성인기에 뉴런이 손상을 입어 죽게 되면 다른 세포로 대체될 수 없다는 생각이 변화되게 되었다.

신경 줄기 세포가 적합한 신호를 받게 되면 이들은 뉴런과 같은 신경 세포 등으로 분화하게 된다. 과학자들은 이러한 신경 줄기 세포 이식이 신경 손상 및 퇴행성 뇌질환에서 비롯된 손상된 기능을 회복할 수 있도록 할 것이라는 희망을 가지고 어떻게 이러한 세포 변화가 가능한지를 매우 적극적으로 연구하고 있다.

3. 자극의 전달 경로

자극에 의해 감각 기관에서 발생한 흥분은 구심성 뉴런을 거쳐 연합 뉴런으로 전달되고, 연합 뉴런에서 정보를 처리하여 발생한 흥분은 원심성 뉴런으로 전달된 후 근육 등의 반응 기관으로 전해진다.

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



4. 분극

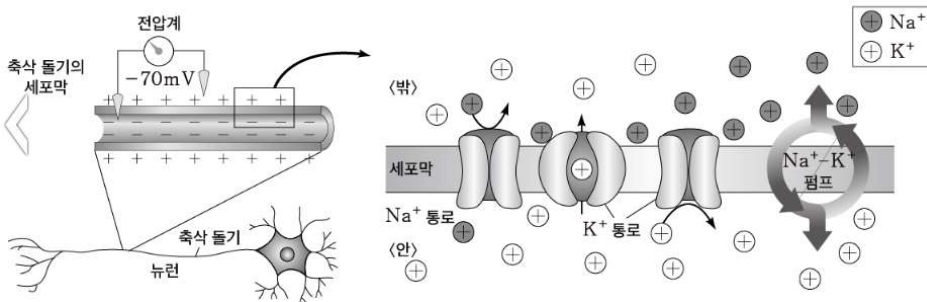
자극을 받지 않아 휴지 상태인 뉴런은 세포막을 경계로 안쪽이 상대적으로 음(-)전하를 띠고, 바깥쪽이 상대적으로 양(+전하)을 띤다. 이러한 상태를 양극으로 나누어진 상태라고 하여 분극이라고 하며, 이때 형성되는 막전위를 휴지 전위라고 한다.

[분극의 원인]

뉴런의 세포막에는 여러 종류의 막단백질이 존재한다. 막단백질에는 특정 이온의 능동 수송을 담당하는 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프, Na^+ 의 확산을 담당하는 Na^+ 통로, K^+ 의 확산을 담당하는 K^+ 통로 등이 있다. $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프는 ATP를 분해하여 얻은 에너지를 이용하여 세포 안의 Na^+ 을 세포 밖으로 내보내고, 세포 밖의 K^+ 을 세포 안으로 들여온다.

이로 인해 뉴런의 Na^+ 농도는 항상 세포 밖이 안보다 높고, K^+ 농도는 세포 안이 밖보다 높게 유지된다.

[분극 상태에서 이온 분포]



본 교재의 저작권은 이셋별에게 있습니다.
이미 출간이 예정된 Present 생명과학1 출간물의 일부입니다.

[휴지 전위]

분극 상태에서 세포 안과 밖의 전위차. 세포에 따라 -60mV~-90mV로 다양하나 뉴런의 휴지 전위는 -70mV로 고정되어 있다.

[Common Sense - 뉴런의 휴지 전위 -70mV]

신경과 근육세포들은 흥분성 조직이라 특징지을 수 있는데 이는 어떠한 자극에 대해 빠르게 전기 신호를 전파할 수 있는 능력을 가졌기 때문이다. 이때 살아 있는 세포들은 이온들이 세포막 안팎에 걸쳐 균등하지 않게 분포하기 때문에 형성되는 휴지 막전위(V_m)를 갖는다.

이때 뉴런의 휴지 전위 -70mV는 세포 안의 세포 밖에 대한 상대적인 값으로, 앞서 분극의 원인에서 설명한 세 가지 요인에 의해 음의 값 -70mV이 설명된다.

- ① $Na^+ - K^+$ 펌프를 통해 Na^+ 는 세포 밖으로, K^+ 는 세포 안으로 약 3:2의 이온수 비로 이동한다. 그에 따라 세포 밖이 안보다 양이온이 많다.
- ② 휴지 상태에서는 K^+ 통로가 일부 열려 있어 K^+ 이 안에서 밖으로 확산되지만 Na^+ 통로는 거의 대부분 닫혀 있어 Na^+ 이 밖에서 안으로 확산되지 못한다. 그에 따라 세포 안의 양이온이 세포 밖으로 확산되어 상댓값이 음전하를 띤다. 이때 뉴런은 Na^+ 에 대해서도 적은 투과성을 나타내기 때문에 예상한 막전위 값 (-90mV)보다 조금 더 양성의 휴지 전위를 띤다.
- ③ 세포 안에는 음(-)전하를 띠고 있는 단백질이 세포 밖보다 많이 존재한다.

이러한 이온의 불균등 분포, 이온의 막투과도 차이, 음(-)전하 단백질로 인해 세포막 안은 상대적으로 음(-)전하를, 세포막 밖은 상대적으로 양(+전하)를 띤다.

흥분성

자극에 대해 반응하여 활동 전위를 생성할 수 있는 뉴런의 성질

세포막 전위의 계산

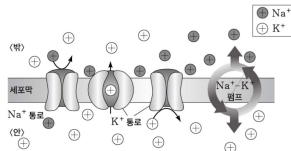
뉴런 내에서의 전위값을 계산할 수 있는 방정식에 따르면 휴지 전위는 -90mV로 예측된다.

그러나 Na^+ 이온도 뉴런 안으로 소량 들어올 수 있어 실험값(평균)은 -70mV이 된다.

+와 -

세포 안의 세포 밖에 대한 상대적인 전위

이온의 이동



5. 이온의 이동

장소 \ 이온	Na^+	K^+	이동 방식	에너지(ATP) 소모
Na^+ 통로	세포 밖 → 세포 안	-	확산	×
K^+ 통로	-	세포 안 → 세포 밖	확산	×
$Na^+ - K^+$ 펌프	세포 안 → 세포 밖	세포 밖 → 세포 안	능동 수송	○

(○: 있음 ×: 없음, -: 해당 없음)

[Remark 1] 물질의 이동 방식 중 하나인 확산은 용질이 고농도에서 저농도 방향으로 이동한다. 그에 따라 확산이 일어난다는 것은 시기와 무관하게 Na^+ 의 농도는 세포 밖이 안보다 크고, K^+ 의 농도는 세포 안이 세포 밖보다 크다는 것을 의미한다.

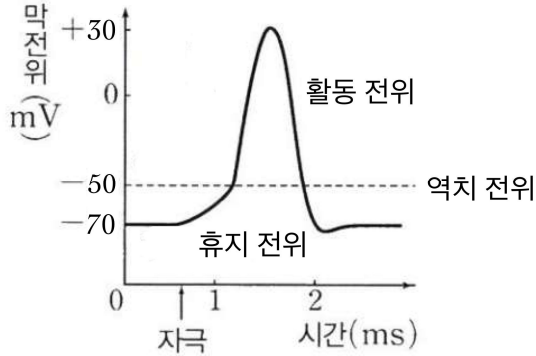
[Remark 2] $Na^+ - K^+$ 펌프를 통해 Na^+ 는 세포 밖으로, K^+ 는 세포 안으로 이동하며 이동하는 이온수 비는 약 3:2이다. 이동 방향성은 교유과정 내이고 출제될 수 있지만 이동하는 이온수 비는 교유과정 외이다.

[Remark 3] 소주제명인 이온의 이동은 확산과 능동 수송을 모두 포괄하는 개념이다. 이외에도 물질의 이동 방식에는 삼투나 내포-외포 작용 등이 존재한다.

6. 역치

세포가 반응하기 위해 필요한 최소한의 자극의 세기

세포의 종류가 다르면 역치가 다르며, 같은 세포에서도 세포의 상태에 따라 역치는 변할 수 있다.



[Remark 1] 반응이 일어날 때, 자극의 세기는 반응의 크기와 무관하다.

즉, 반응의 크기는 일정하게 유지되며 이를 실패율이라 한다.

[Remark 2] 실패율은 하나의 세포에서만 적용되며, 여러 개의 세포가 모여 구성되는

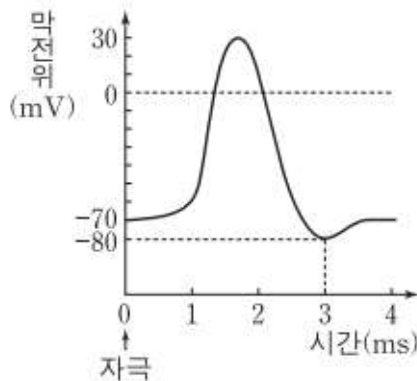
기관(근육, 신경)에서는 세포 별로 역치가 다르기 때문에 실패율이 적용되지

않는다.

7. 활동 전위

휴지 상태인 뉴런의 한 지점에 역치 이상의 자극이 가해지면 막전위가 빠르게 상승하였다가

하강한다. 이러한 막전위 변화를 활동 전위라고 한다.



[Remark 1] 뉴런에서 활동 전위가 발생했을 때, 막전위(mV)가 +30mV까지 상승하는 것을 알

수 있다. 이때 그래프에서 -70mV와 30mV는 막전위(mV)이고, -70mV와 30mV의 차이인 100mV는 활동 전위의 크기이다.

[Remark 2] 앞서 막전위 값은 세포 안의 세포 밖에 대한 상대적인 값으로 설명한 바 있다.

막전위가 -70mV에서 30mV로 상승했다는 것은 세포 안의 전위가 -에서 +로

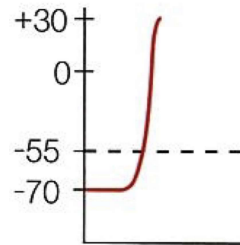
세포 밖의 전위는 +에서 -으로 변한다는 것을 의미한다.

본 교재의 저작권은 이셋별에게 있습니다.

이미 출간이 예정된 Present 생명과학1 출간물의 일부입니다.

8. 탈분극

역치 이상의 자극이 가해진 뉴런의 부위에서 막전위가 상승하는 현상

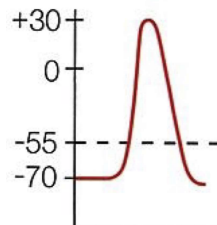


뉴런이 역치 이상의 자극을 받음에 따라 자극을 받은 부위에서 Na^+ 통로가 열리면서 Na^+ 에 대한 막 투과도가 커지고, Na^+ 이 세포 안으로 급격하게 확산되어 탈분극이 일어난다.

[Remark 1] 활동 전위는 매우 짧지만 큰 탈분극이다. 활동 전위에 의해 강도를 잃지 않고 뉴런들을 통해 신호가 먼 거리를 이동할 수 있다.

9. 재분극

상승한 막전위가 다시 휴지 전위로 하강하는 현상



탈분극 시 열린 Na^+ 통로는 시간이 지남에 따라 닫히고, 닫혀 있던 K^+ 통로가 열린다. 이로 인해 Na^+ 의 막 투과도는 감소하고 K^+ 의 막 투과도는 증가하여, Na^+ 통로를 통한 Na^+ 의 확산은 감소하고 Na^+ 통로를 통해 K^+ 의 확산은 증가하여 재분극이 일어난다.

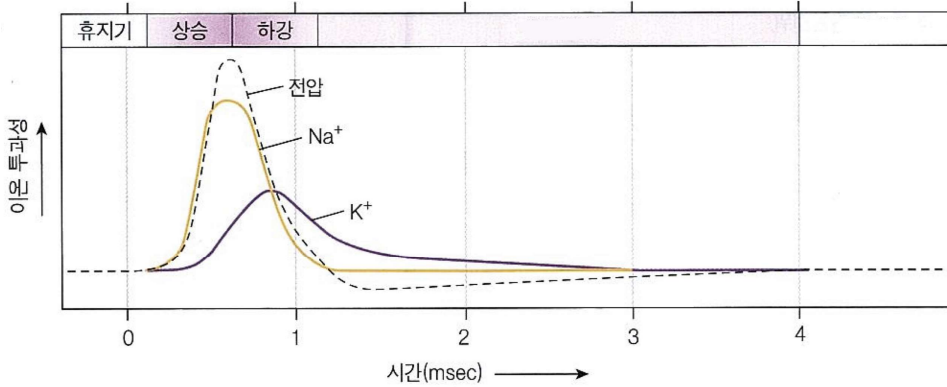
[Remark 1] Na^+ 통로를 통한 이온의 이동이 억제되면 억제되기 전보다 탈분극은 느려지며 K^+ 통로를 통한 이온이 이동이 억제되면 억제되기 전보다 재분극이 느려진다.

[Remark 2] 재분극이 일어나면서 막전위가 휴지 전위(-70mV)보다 더 낮은 -80mV까지 하강하였다가 휴지 전위로 회복되는 현상을 과분극이라고 한다.

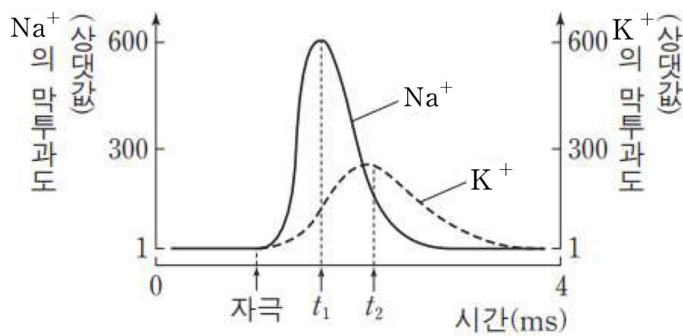
10. 이온의 막 투과도 변화

탈분극과 재분극에서 이온 투과도의 변화는 이온의 흐름과 전압의 변화를 일으킨다.

[전압과 이온 투과성 변화]



[이온의 막 투과도 - 평가원]



[Remark 1] K^+ 의 막투과도를 나타내는 분포곡선이 Na^+ 의 막투과도를 나타내는 분포곡선보다 고점을 나타내는 시점이 오른쪽에 있으며, 분산도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 K^+ 통로의 개폐 속도가 Na^+ 통로의 개폐 속도보다 상대적으로 느리기 때문이다.

[Remark 2] 위 그림은 16학년도 9월 평가원에 출제된 기출 자료이다. 이를 통해 시간에 따라 Na^+ 통로와 K^+ 통로의 개폐 정도의 차이가 생긴다는 것을 알 수 있다.

11. 활동 전위의 연쇄성

활동 전위에 대해 논할 때는 1개의 활동 전위가 아닌 일련의 활동 전위로 보아야 한다. 이는 활동 전위가 일정한 강도를 가지고 뉴런의 유발 영역에서 축삭 말단으로 이동하는 전기 신호이며, 전류의 이동에 따라 이온 통로가 순차적으로 열리기 때문이다.

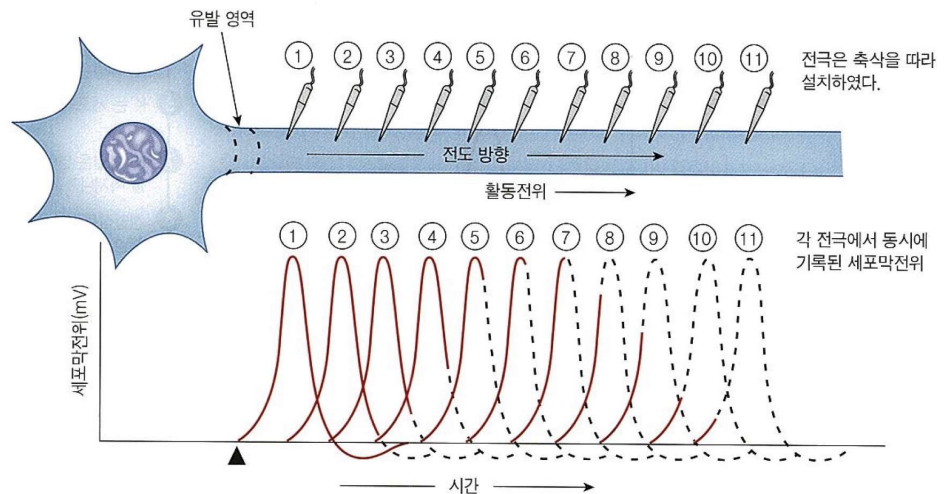
유발 영역

역치 이상의 자극에 의해 활동 전위가 유발된 영역

이는 앞서 살펴본 일련의 도미노 이동과 같은 상황으로 볼 수 있으며, 첫 번째 도미노가 쓰러지면 운동 에너지를 전달하며 다음 도미노를 치고, 두 번째 도미노가 쓰러지며 운동 에너지를 전달하여 세 번째 도미노에 전달하는 일련의 과정을 통해 이해할 수 있다.



즉, 다음과 같이 전극을 다르게 설치하면 각 지점에서의 세포막 전위가 다르게 나타난다는 것이다.



[Remark 1] 이와 같이 자극 지점(유발 영역)과 특정 시점에 따라 전위가 다르게 나타나고, 이를 변수로 하여 평가원 문항들이 출제되어 왔다.

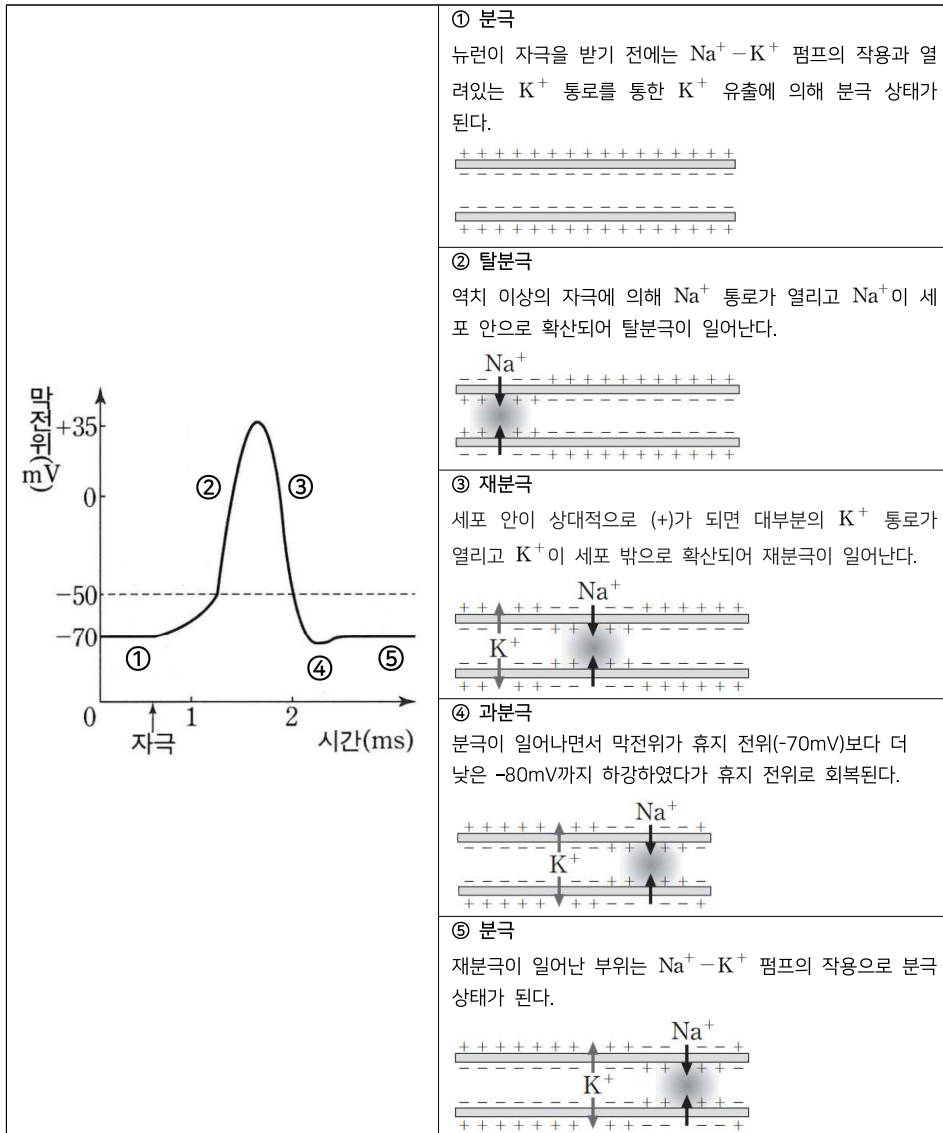
[Remark 2] 위 그림을 토대로 자극과 가까운 지점일수록 흥분이 빠르게 도착한다는 사실을 알 수 있다.

12. 흥분의 전도

축삭을 통해 빠른 속도로 활동 전위가 이동하는 것을 **활동 전위의 전도**라고 하며 뉴런의 한 지점에서 활동 전위가 일어나면 일정 시간 뒤 그 지점과 가까운 지점에서 활동 전위가 발생하는 데 이와 같은 연쇄적인 활동 전위의 발생을 통해 흥분이 뉴런 내에서 이동하는 현상을 **흥분의 전도**라고 한다.

이러한 흥분의 전도는 신경 세포체에서 축삭 돌기 말단 방향으로 전도되며, 만약 축삭 돌기의 중간 지점에서 활동 전위가 발생하면 흥분 전도는 양방향으로 진행된다.

[흥분의 전도 과정]



[Remark 1] 뉴런의 특정 부위에서 활동 전위가 발생할 때, 시점에 따른 막전위 값은 결정된 과학적 사실이다. 그에 따라 시점에 따른 비례관계를 암기 후 활용해도 무방하다.

[Remark 2] 과분극은 선후 관계 상 ③과 ⑤ 사이에 존재한다. 즉, 문제에서 막전위가 -70mV (mV) 이하인 지점은 특수한 지점이며, 문제 해제에 Key로 작용한다.

본 교재의 저작권은 이셋별에게 있습니다.
이미 출간이 예정된 Present 생명과학1 출간물의 일부입니다.

흥분 전도 추론

[출제 문항 예시]

10. 다음은 민말이집 신경 A~D의 흥분 전도와 전달에 대한 자료이다.

○ 그림은 A, C, D의 지점 d_1 으로부터 두 지점 d_2, d_3 까지의 거리를, 표는 ㉠ A, C, D의 d_1 에 역치 이상의 자극을 동시에 1회 주고 경과된 시간이 5ms일 때 d_2 와 d_3 에서의 막전위를 나타낸 것이다.

신경	5ms일 때 막전위(mV)	
	d_2	d_3
B	-80	㉠
C	?	-80
D	+30	?

○ B와 C의 흥분 전도 속도는 같다.
○ A~D 각각에서 활동 전위가 발생하였을 때, 각 지점에서의 막전위의 변화는 그림과 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~D에서 흥분의 전도는 각각 1회 일어났고, 휴지 전위는 -70mV이다.) [3점]

- <보기>
- ㄱ. 흥분의 전도 속도는 C에서가 D에서보다 빠르다.
 - ㄴ. ㉠은 +30이다.
 - ㄷ. ㉠이 3ms일 때 C의 d_3 에서 탈분극이 일어나고 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

21학년도 9월 평가원

15. 다음은 민말이집 신경 A와 B의 흥분 전도에 대한 자료이다.

○ 그림은 A와 B의 지점 $d_1 \sim d_4$ 의 위치를, 표는 ㉠ A와 B의 지점 X에 역치 이상의 자극을 동시에 1회 주고 경과한 시간이 2ms, 3ms, 5ms, 7ms일 때 d_2 에서 측정된 막전위를 나타낸 것이다. X는 d_1 과 d_4 중 하나이고, I~IV는 2ms, 3ms, 5ms, 7ms를 순서 없이 나타낸 것이다.

신경	d_2 에서 측정된 막전위(mV)			
	I	II	III	IV
A	?	-60	?	-80
B	-60	-80	?	-70

○ A와 B의 흥분 전도 속도는 각각 1cm/ms와 2cm/ms 중 하나이다.
○ A와 B 각각에서 활동 전위가 발생하였을 때, 각 지점에서의 막전위 변화는 그림과 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B에서 흥분의 전도는 각각 1회 일어났고, 휴지 전위는 -70mV이다.) [3점]

- <보기>
- ㄱ. II는 3ms이다.
 - ㄴ. B의 흥분 전도 속도는 2cm/ms이다.
 - ㄷ. ㉠이 4ms일 때 A의 d_3 에서의 막전위는 -60mV이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

20학년도 수능

[구성 요소]

① 경과된 시간 (막전위를 측정할 시간)

흥분 전도 시간 (흥분이 이동하는 시간) + 막 전위 변화 시간 (막전위를 나타내기까지 걸리는 시간)

② 막 전위 변화 그래프

값이 결정된 그래프로 정수론, 보조선, 화살표, 비례 관계 도구를 활용하여 해석할 수 있다.

③ 특정 지점에서의 막전위 값

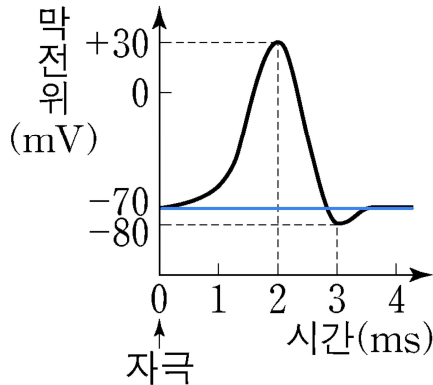
결정된 값을 통해 결정되지 않은 값과 추가 정보를 추출할 수 있다.

예를 들어 흥분 전도 추론 유형에서 가장 최근에 출제된 수능 문항인 [20 수능] 자료를 보자.

신경	d_2 (ms)일 때 측정된 막전위(mV)			
	I	II	III	IV
A	?	-60	?	-80
B	-60	-80	?	-70

신경	d_2 (ms)일 때 측정된 막전위(mV)			
	I	II	III	IV
A	?	-60	?	-80
B	-60	-80	?	-70

$y = -70\text{mV}$ 인 그래프를 시간-막전위 그래프에 입히면 만나는 지점은 3곳 이상이다.

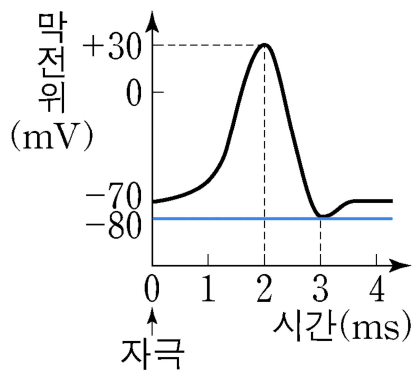


(∵ 탈분극이 일어나기 전, 활동 전위가 일어난 후 휴지 전위로 돌아간 상태)

그에 따라 특수한 정보를 연역적으로 끌어내기 어렵다.

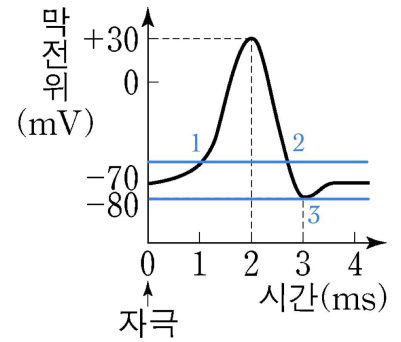
신경	d_2 (ms)일 때 측정된 막전위(mV)			
	I	II	III	IV
A	?	-60	?	-80
B	-60	-80	?	-70

그러나 -80mV 인 지점은 정확히 한 군데이다.



따라서 특수한 해당 정보를 이와 같이 다른 정보와 연결지을 수 있다.

신경	d_2 (ms)일 때 측정된 막전위(mV)			
	I	II	III	IV
A	?	-60	?	-80
B	-60	-80	?	-70



막전위가 -60mV일 때, 특이점 1과 특이점 2 모두 특이점 3 보다는 막 전위 변화 시간이 적게 걸린다.

또한 같은 경과된 시점 II에서 정보를 관찰하고 있고
 흥분 전도 시간 = 경과된 시간 - 막 전위 변화 시간 이므로
 흥분 전도 시간은 B가 A보다 더 적다.

이때 흥분의 전도 속도 = $\frac{\text{흥분의 이동 거리}}{\text{흥분의 이동 시간}}$ 이고 조건에서 흥분의 이동 거리는 동일하게 통제되어 있으므로, 흥분의 전도 속도는 B가 A보다 더 큰 것을 알 수 있다.

∴ B의 흥분 속도는 2cm/ms, A의 흥분 속도는 1cm/ms이다.

[Remark 1] 위 논리 과정을 이해한 후 전제가 동일한 추후 상황에서 일반화하여 -70mV 이상의 값(-60mV)과, -70mV 이하의 값(-80mV) 간 병렬 구조만 보고 흥분의 전도 속도가 B가 A보다 큰 사실이 자명함을 깨닫는 것.

명제와 선후 관계

본 교재에서 $p \Rightarrow q$ 는 '~이면 ~이다'의 명제 관계, $p \rightarrow q$ 는 'p 이후 q' 라는 선후 관계의 의미로 사용된다.

제한 시간 내 본 문항을 포함한 20문항을 풀어나기 위해서는 교과 내용의 논리를 이해한 후 $A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow D \Rightarrow E$ 의 논리를 미리 기출 문항을 통해 체득, 실전에서는 $A \Rightarrow E$ 로 활용할 수 있어야 한다. $A \Rightarrow E$ 를 제시한 후 논리를 활용할 수 있도록 여러 예시를 통해 $A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow D \Rightarrow E$ 를 이해시키는 교재 내 Contents가 Schema이다.

공부할 때는 $A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow D \Rightarrow E$ 를 이해 후 모두 활용해보고 시험 현장에서는 $A \Rightarrow E$ 또는 $? \Rightarrow E$ 를 활용하자. (?는 중간 논리)

명시지와 암묵지

당연히 구사할 수 있어야 하는 내용들에 대해 적을 수 있을 정도로 인지하고 있는지, 그렇지 못하고 감으로만 풀어가고 있는지의 차이는 타임 어택이 있는 시험에서 생각보다 크게 나타날 수 있다.

[Remark 2] 문제에서 전도 시간은 1ms 또는 2ms 정수값으로 결정되어 있고, 경과된 시간 또한 2 or 3 or 5 or 7ms의 정수값이므로 막 전위 변화 시간 또한 정수값이다. 그에 따라 -60mV인 지점은 특이점 1과 특이점 2 중 특이점 1로 압축됨을 알 수 있다. 이 또한 정수론 Schema를 공부한 후에는 $A \Rightarrow E$ 로 도출되길 바란다.

[Remark 3] 실전에서 상댓값 간 사칙연산이 자유로워야 정확성과 시간 단축 면에서 향상된다. 이는 연습을 통해 극복할 수 있다.

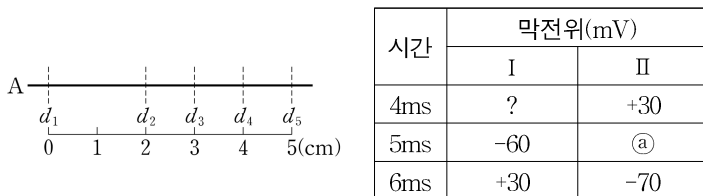
흥분 전도 추론 Schema를 다음 페이지부터 공부해보자.

본 교재의 저작권은 이셋별에게 있습니다.
 이미 출간이 예정된 Present 생명과학1 출간물의 일부입니다.

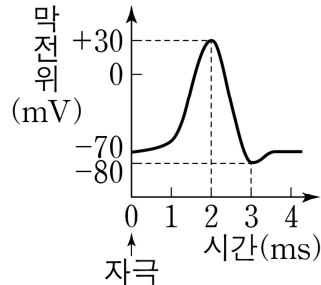
[문제 82 - 22학년도 6월 평가원 11번]

다음은 만말이집 신경 A의 흥분 전도에 대한 자료이다.

- 그림은 A의 지점 d_1 으로부터 네 지점 $d_2 \sim d_5$ 까지의 거리를, 표는 d_1 과 d_5 중 한 지점에 역치 이상의 자극을 1회 주고 경과된 시간이 4ms, 5ms, 6ms일 때 I과 II에서의 막전위를 나타낸 것이다. I과 II는 각각 d_2 와 d_4 중 하나이다.



- A에서 활동 전위가 발생하였을 때, 각 지점에서의 막전위의 변화는 그림과 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.
(단, A에서 흥분의 전도는 각각 1회 일어났고, 휴지전위는 -70mV이다.)

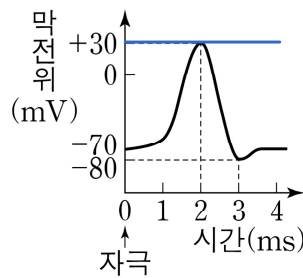
< 보 기 >

- ㄱ. A의 흥분의 전도 속도는 2cm/ms이다.
- ㄴ. ㉠은 -80이다.
- ㄷ. 4ms일 때 d_3 에서 탈분극이 일어나고 있다.

[문제 82 해설] [답] 나, 다

시간	막전위(mV)	
	I	II
4ms	?	+30
5ms	-60	㉠
6ms	+30	-70

I 과 II 중 II에서 +30mV의 막전위가 먼저 나타났으므로 II가 자극을 준 지점과 더 가깝다.



시간	막전위(mV)	
	I	II
4ms	?	+30
5ms	-60	㉠
6ms	+30	-70

막전위(mV)가 +30인 지점은 그래프 상 유일하다.

+30mV인 지점을 기준으로 I에서 막전위가 -60mV인 지점은 6ms보다 앞선 시점이므로 탈분극이 일어나고 있는 때의 막전위이고 다음이 결정된다.

시간	막전위(mV)	
	I	II
4ms	-70	+30
5ms	-60	㉠
6ms	+30	-70

마찬가지로 +30mV인 지점에 의해 II에서 막전위 -70mV는 활동 전위가 발생한 후에 측정된 막전위임을 알 수 있다. 따라서 II에서 5ms일 때 막전위는 -80mV이다.

시간	막전위(mV)	
	I	II
4ms	-70	+30
5ms	-60	-80
6ms	+30	-70

[Comment 1] 지면 상 논리적으로 서술했으나 실전에서는 -30(유일)과 다른 결정된 수치들만 보고 자극을 받은 시점이 I 과 II에서 각각 4ms, 2ms인 것과, 결정되지 않은 수치들 (예 ?와 ㉠)을 알아낼 수 있음을 인지할 정도로 고이면 좋다.

4ms	?	+30
5ms	-60	㉠
6ms	+30	-70

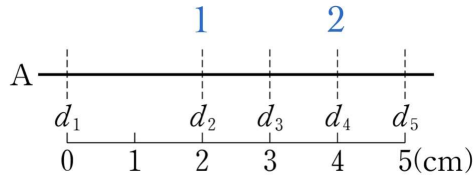
4ms	?	+30
5ms	-60	㉠
6ms	+30	-70

본 교재의 저작권은 이셋별에게 있습니다.

이미 출간이 예정된 Present 생명과학1 출간물의 일부입니다.

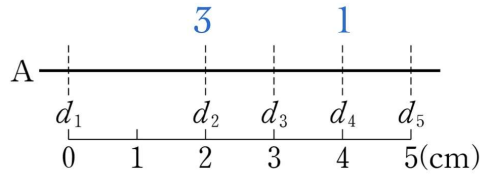
자극을 받은 시점은 "+30mV인 시점-2ms"이므로 I 과 II에서 각각 4ms, 2ms이다.

d_1 이 자극을 준 지점이라면 자극을 받은 시간의 비는 1 : 2이고

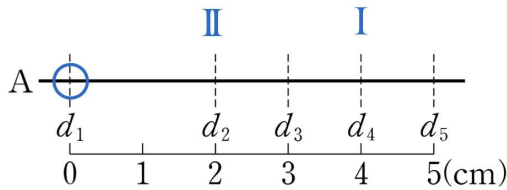


d_5 가 자극을 준 지점이라면 자극을 받은 시간의 비는 1 : 3인 것을 알 수 있다.

(∵ 길이비 = 시간비)



따라서 자극을 준 지점은 d_1 이고, I 과 II는 각각 d_4 와 d_2 이다.



[선지 해설]

< 보 기 >

ㄱ. A의 흥분의 전도 속도는 2cm/ms이다. (X)

A의 흥분 전도 속도는 1cm/ms이다.

ㄴ. ㉓는 -80이다. (O)

㉓는 -80이다.

ㄷ. 4ms일 때 d_3 에서 탈분극이 일어나고 있다. (O)

4ms일 때 d_3 은 흥분 도착 후 1ms가 흘렀을 때이므로 탈분극이 일어나고 있다.

[Comment 2] 흥분 전도가 다소 쉽게 출제된 경우, 조건들을 읽은 후 바로 파악될 수 있을 정도로 공부되는 게 바람직하다.