

제 4 교시

과학탐구 영역(생명과학 I)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 성명 | | 수험 번호 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

1. 생명 현상의 특성과 유전병 (돌연변이)

페닐케톤뇨증에 대한 설명이 주어졌다.
 유전자 돌연변이라는 사실을 알 수도 있지만, 모른다는 가정 하에 보자.
 먼저, 체내에서 아미노산인 페닐알라닌이 타이로신으로 전환되지 못해 발생하는 병이라고 제시되어 있다. 물질대사와 연관이 있는 것 같다.
 ㉠ : 정상 부모사이에서 페닐케톤뇨증을 나타내는 자녀가 태어났다.
 생명 현상의 특성 중 유전(열성)과 관련된 현상이다.
 마지막에 핵형 분석을 통해서도 질병의 발현 유무를 확인할 수 없다는 표현을 통해 유전자 돌연변이임을 알 수 있다.
 ㄱ. O - 물질대사의 이상으로 나타남을 알 수 있다.
 ㄴ. X - 페닐케톤뇨증은 유전자 돌연변이에 의해 나타난다.
 ㄷ. O - 페닐케톤뇨증은 ㉠과 같은 유전 현상이 관찰된다.

2. 생물의 구성 물질

㉠, ㉡, ㉢ 은 지질, 핵산, 단백질 중 하나이다.
 ㉠과 ㉡ 중 하나만 세포막의 구성 성분이라고 하므로,
 둘 중 하나는 핵산이고 나머지 하나는 지질, 단백질 중 하나이다.
 먼저, 왼쪽 그림을 보자.
 A는 미토콘드리아, B는 리보솜, C는 핵이다.
 다음, 오른쪽 표를 보자.
 ㉡이 1%를 차지하고 ㉠과 ㉢이 12%를 차지하는데,
 ㉠이 ㉢보다 인체 구성 비율이 높다.
 ∴ ㉠은 에너지원 중 가장 인체 구성 비율이 높은 단백질이다.
 → ㉡ : 핵산, ㉢ : 지질
 ㄱ. O - A(미토콘드리아)는 세포 호흡이 일어나는 장소이다.
 ㄴ. O - B(리보솜)는 세포의 생명활동에 필요한 단백질을 합성하는 장소이다.
 ㄷ. O - C(핵)는 효소에 의해 DNA(핵산) 복제가 일어나는 곳이다.

3. 병원체

먼저, 왼쪽 표를 보자.
 (가) : 세균에 의한 질병
 (나) : 바이러스에 의한 질병
 (다) : 진핵생물에 의한 질병
 다음, 오른쪽 그림(병원체 X)을 보자.
 X는 바이러스임을 알 수 있다.
 ㄱ. X - (가)는 세균에 의한 질병으로 X에 의한 질병은 (나)이다.
 ㄴ. O - 바이러스의 방어 과정에서 세포성 면역이나 체액성 면역처럼 2차 방어 작용(특이적 면역 반응)이 일어난다.
 ㄷ. O - 세균 : 원핵생물 / 곰팡이, 말라리아 원충(모기) : 진핵생물

4. 항상성 유지 - 삼투압 조절 (ADH)

먼저, (가)를 보자.
 콩팥을 표적기관으로 하는 호르몬 X는 ADH(항이뇨 호르몬)이고, ADH는 뇌하수체 후엽에서 분비되고 간뇌 시상하부의 조절을 받는다.
 다음, (나)를 보자.
 압력 P에 의한 혈중 X(ADH)의 농도에 대한 그래프이다.
 압력 P가 혈압인지, 혈장 삼투압인지 구별해야 한다.
 ㉠, ㉡은 정상 상태보다 전체 혈액량의 대·소에 의해 구별된다.
 ADH는 혈압이 낮을수록(=전체 혈액량이 적을수록), 혈장 삼투압이 높을수록 더 많이 분비된다. 혈장삼투압은 혈액의 농도(진한 정도)와 같은 의미로 피가 묽을 때보다 진할 때 물이 더 필요하기 때문에 농도가 높아진다는 건 ADH 분비가 더 많이 필요하다는 의미이다.
 압력 P가 무엇인지부터 구별하자.
 P가 혈압인 경우, 혈압이 증가하면 전체 혈액량이 증가한다는 의미로 X의 분비가 적어져야한다. 즉, 우상향이 아닌 우하향 그래프가 되므로 P는 혈압이 아니라는 것을 알았다.
 따라서, P는 혈장 삼투압이다.
 다음으로, 그래프를 해석해보자.
 P가 증가하는데, 조금만 증가해도 ㉠은 혈중 X 농도가 급증하고, ㉡은 압력 P가 많이 증가해도 혈중 X 농도 변화가 작다.
 P가 혈장삼투압임을 알아냈기 때문에,
 정상상태보다 혈액량이 적은 경우, 혈장삼투압(혈액의 농도)이 조금만 증가해도 ADH 분비가 정상보다 상대적으로 많을 것이다.
 정상상태보다 혈액량이 많은 경우, 혈장삼투압(혈액의 농도)이 많이 증가해도 ADH 분비가 정상보다 상대적으로 적을 것이다.
 따라서, ㉠은 정상 상태보다 전체 혈액량이 적은 경우,
 ㉡은 정상 상태보다 전체 혈액량이 많은 경우이다.
 ㄱ. O - X(항이뇨 호르몬)의 분비는 간뇌의 시상 하부가 조절한다.
 ㄴ. X - P는 혈장삼투압이다.
 ㄷ. X - X(항이뇨 호르몬)의 농도가 @가 되는 P(혈장 삼투압)의 값은 ㉠(정상보다 적은 경우)이 제일 작고, ㉡(정상보다 큰 경우)이 제일 크다. - 그래프만 봐도 아는..?!

5. 흥분의 전도 및 속도 계산

먼저, (가)를 보자.

2ms일 때, 탈분극에서 재분극으로 바뀌고 / 3ms일 때 과분극상태!

(나)와 2번째 조건을 보자.

P에 흥분이 발생해서 전도되고, 5ms가 되었을 때 막전위를 측정했다. A는 d1을, B는 d2를 측정했다.

모두 막전위가 -80mV 였다는 것은 해당 지점에 흥분이 전달된 지 둘 다 3ms가 지났다는 것이다.

P~d1까지의 거리 : 4cm

P~d2까지의 거리 : 6cm

신경 A는 P~d1까지 2ms가, 신경 B는 P~d2까지 2ms가 걸렸다.

속도로 계산해보면, A = 2cm/ms, B = 3cm/ms 이다.

ㄱ. X - 2/3 < 1

ㄴ. O - A의 경우, P~d2까지 3ms / P~d3까지는 4ms가 소요된다.

따라서, 5ms일 때 관찰하면

d2는 그래프에서 2ms에, d3는 1ms에 위치한다.

그래프를 보면, 1ms와 2ms 사이는 탈분극 상태이다.

탈분극 : Na⁺ 통로가 열려, 세포막 외부에서 내부로 이동.

ㄷ. O - B의 경우, P~d1까지 1.33ms / P~d2까지는 2ms가 소요된다.

따라서, 5ms일 때 관찰하면

d1은 그래프에서 3.66ms에, d2는 3ms에 위치한다.

그래프를 보면, 3.66ms는 분극 상태, 3ms는 과분극 상태이다.

따라서, 막전위는 -80과 -75(?) 사이로 항상 (-)이다.

6. 생명체의 구성 단계

(가), (나)가 각각 동물, 식물 중 하나이므로 기관계와 조직계를 이용해 왼쪽 표를 채워나갈 것임을 유추하자.

먼저, 오른쪽 그림을 보자.

㉠은 책상(울타리) 조직, ㉡은 관다발 조직계이다.

다음, 왼쪽 표를 보자.

A는 동물, 식물 중 하나에만 존재하므로 기관계 혹은 조직계이다.

문제의 발문 마지막에, B와 C는 조직과 조직계 중 하나라고 하였다.

따라서, A는 조직계가 아닌 기관계를 알 수 있다.

자연스레 (가)는 동물이고, (나)는 식물임을 알 수 있다.

B는 (가)에 존재하므로 조직계는 아니다. 따라서 조직이다.

C가 조직계이고, D는 기관이다.

표를 완성해보자.

| 구분 | (가) : 동물 | (나) : 식물 |
|---------|----------|----------|
| A : 기관계 | O | X |
| B : 조직 | O | O |
| C : 조직계 | X | O |
| D : 기관 | O | O |

ㄱ. X - B(조직)는 구조와 기능이 유사한(같은) 세포로 이루어져 있다.

ㄴ. O - (가) : 동물에는 C(조직계)가 없다.

ㄷ. O - 동물의 심장, 식물의 열매 모두 D(기관)이다.

7. 항상성 조절과 말초 신경계

먼저, 왼쪽 그림을 보자.

A는 교감 신경, B는 체성 신경, C는 부교감 신경이다.

다음, 오른쪽 표를 보자.

㉠은 교감 신경과 호르몬(티록신 등...)에 의해서 나타나는 현상이다.

㉡은 부교감 신경에 의해서 나타나는 현상이다.

ㄱ. O - ㉠은 추울 때 열(에너지)을 내기 위해서 나타나는 현상이다.

ㄴ. X - ㉠은 교감 신경 및 호르몬에 의해서 일어나지만,

㉡은 부교감에 의해 일어난다.

ㄷ. O - B(체성 신경)의 말단과 C(부교감 신경의 신경절 이후 뉴런)에서

모두 아세틸콜린이 분비된다.

8. 대립 유전자와 염색체

먼저, ㉠과 ㉡이 체세포이며 G1기라는 것이 주어졌다.

모두 핵상은 2n=46이니 둘 중 어떤 것이 오빠이고 영희인지 알아보자.

I) ㉠이 오빠이고, ㉡이 영희인 경우

㉢+㉣+㉤ = 4가 되어버려서 문제의 조건을 만족할 수 없다.

II) ㉠이 영희이고, ㉡이 오빠인 경우

㉢는 1이고, ㉢+㉣+㉤ < 3 이면 조건을 만족한다.

따라서, ㉠ : 영희, ㉡ : 오빠이다.

두 대립유전자 쌍이 어떤 염색체에 있는지에 따라서 구별해야 한다.

II - 1) 둘 다 상염색체인 경우 : X

㉢ = 2, ㉣ + ㉤ = 2 이므로 문제의 조건을 만족할 수 없다.

II - 2) 하나는 상염색체, 하나는 성(X)염색체인 경우 : X

A(a)가 X염색체, B(b)가 상염색체인 경우,

㉢ = 1, ㉣ + ㉤ = 2 이다.

A(a)가 상염색체, B(b)가 성염색체인 경우,

㉢ = 2, ㉣ + ㉤ = 1 이다.

마찬가지로, 문제의 조건을 만족할 수 없다.

II - 3) 둘 다 성염색체인 경우 : O

㉢ = 1, ㉣ + ㉤ = 1 이다. 이는 문제의 조건을 만족한다.

따라서, ㉠, ㉡ 형질의 두 대립유전자 쌍은 X염색체에 연관되어 있다.

문제 마지막 조건에 어머니가 Ab인 생식 세포를 만들며 오빠에게 B를

주었다고 했으므로 유전자형은 A_Bb이다.(Ab/_B)

만약, _가 A라면 오빠는 반드시 A를 받으므로 모순이다.

따라서, 어머니의 유전자형은 AaBb(Ab/aB)로 확정된다.

㉠이 영희이므로 영희의 유전자형을 보면 AABb(AB/Ab)이다.

어머니에게서 Ab를 받았으므로 아버지의 유전자형은 AB/Y이며

㉡인 오빠는 aB/Y이다. 따라서 ㉢ = 1, ㉤ = 0 이다.

표를 완성해보자.

| 구분 | A | a | B | b |
|----|---|---|---|---|
| ㉠ | 2 | 0 | 1 | 1 |
| ㉡ | 0 | 1 | 1 | 0 |

ㄱ. O - 위의 풀이를 통해, ㉢+㉣+㉤+㉥ = 3이다.

ㄴ. X - 여동생은 여자이므로 아버지에게서 X를 반드시 받는다.

아버지는 AB를 주기 때문에, 확률은 1이다.

ㄷ. X - 유전자형이 ab인 생식 세포를 형성하는 사람은 없다.

9. 기관계의 통합적 작용

(가)는 오줌을 배출하는 것을 통해 배설계임을 알 수 있다. (다)는 소화되지 않은 찌꺼기를 배출하므로 소화계임을 알 수 있다. 따라서, (나)는 호흡계이다.

㉑를 통해 각종 노폐물과 물의 이동 및 포도당 등... 의 이동한다. ㉒를 통해서서는 각종 영양분 및 에너지원, 소화 산물등이 이동한다.

- ㄱ. O - 인슐린의 표적기관은 간으로, 간은 소화계에 속한다.
- ㄴ. O - ㉑를 통해, 요소가 이동되어 배설계를 통해 오줌으로 배출된다. 소화계의 간에서 암모니아가 요소로 합성되며, 이는, ㉒를 통해 순환계를 지나 ㉑를 통해 배설계로 이동한다.
- ㄷ. O - ATP가 ADP로 분해되면서 방출되는 에너지가 생명활동에 사용된다. 세포호흡을 통해 ATP를 합성하는 이유이다.

10. 물질의 순환 & 군집의 천이

총생산량 = 호흡량 + 순생산량 (피식량 + 고사, 낙엽 + 생장량)
식물 군집의 천이는 양수림에서 극상인 음수림으로 진행된다.

천이가 진행될수록 식물 군집의 순생산량이 감소한다고 하였으므로, 음수림의 순생산량이 양수림보다 작다.

왼쪽 표를 보자.
위의 정의를 통해, A : 호흡량, B : 순생산량, C : 생장량 이다.

오른쪽 표를 보자.
순생산량인 B가 더 작은 것이 음수림이다.
따라서, I : 음수림, II : 양수림이다.

표를 완성해보자.

| 구분 | B : 순생산량 | C : 생장량 |
|----------|----------|---------|
| I : 음수림 | 10 | 1 |
| II : 양수림 | 20 | 5 |

- ㄱ. X - 1차 소비자의 동화량은 생산자의 피식량에 포함된다.
- ㄴ. X - I 은 음수림이다.
- ㄷ. O - 군집의 생장 속도는 생장량과 비례하므로 II 가 I 보다 빠르다.

11. 유전 - 자가교배, 독립, 연관

A>a, B>b, D>d 라는 조건은 가볍게 보고 넘어가자.
이 식물 종의 개체 (가)와 (나)라고 했으므로, 둘은 서로 같은 종이다. (가)와 (나)의 유전자형이 같고, A, B, D를 가지므로 (가)와 (나)는 유전자형 및 표현형이 같고, 모두 우성 형질이 발현된다.

(가)를 자가교배 시켰을 때, A_bbdd, aabbD_, aabbdd 중 하나가 나타나지 않았다고 하며, 이를 표현형 ㉑이라고 하였다. 이를 찾기 위해서, 간단한 생각을 해보면 (가)의 유전자형이 AABbDd, AaBBdD, AaBbDD 와 같이 한 형질이 모두 우성 유전자만 갖는다면, 세 개 중 어떤 유전자형도 나올 수 없다. 따라서, (가)의 유전자형은 모든 형질이 이형접합인 AaBbDd 이다. 물론, (라)의 유전자형도 AaBbDd 이다.

이 때, 만약 세 형질이 모두 독립이라면 자가교배 시 모든 유전자형이 나올 수 있기 때문에, 두 형질 혹은 세 형질이 연관임을 알 수 있다.

만약, 세 형질이 연관이라면 / 세 유전자형 모두 bb를 갖는데 자가교배 시 대립유전자 b가 연관된 같은 염색체를 두 개 받는 것인데, 그렇게 되면 bb를 제외한 A(a), D(d)가 모두 같으므로 유전자형과 표현형이 같다. 즉, 절대로 세 대립유전자가 같은 연관군일 수는 없다. 두 가지 형질이 연관되고 나머지 한 형질은 독립임을 알 수 있다.

모두 bb를 갖기 때문에, 연관된 대립유전자는 A(a)와 D(d)이다. 그러면, A(a)와 D(d)를 기준으로 분석해보자.

첫 번째 유전자형의 경우 : A_dd
두 번째 유전자형의 경우 : aaD_
세 번째 유전자형의 경우 : aadd
상인 연관의 경우에는, A_D_와 aadd밖에 나올 수가 없다.

따라서, 상반 연관(Ad/aD)이고 자가교배 시 나오지 않는 유전자형은 aabbdd(㉑)이고, A_dd와 aaD_의 비율은 1:1이므로 조건을 만족한다.

(나)도 (가)와 같은 종이기 때문에 동일한 연관군을 가진다. 따라서, A(a)와 D(d)가 연관이고, B(b)는 독립이다.

(나)를 자가교배 시켰을 때, aaB_dd인 개체가 있다고 하였으므로 (나)는 상인연관(AD/ad)이다.

- ㄱ. O - (가) : AaBbDd 이고, A(a)와 D(d) / B(b)의 확률을 구하면 Ad/aD 의 자가교배 시 AaDd가 될 확률은 2/4 이고, B/b 의 자가교배 시 Bb가 될 확률은 2/4 이다. 두 확률을 곱하면 (1/2)×(1/2) = 1/4 이다.
- ㄴ. X - (나) : AaBbDd 이고, 표현형 ㉑ : aabbdd 는 AD/ad 의 자가교배를 통해 aadd가, B/b 의 자가교배를 통해 bb가 나타나면 된다. 따라서, 유전자형이 aabbdd인 개체가 나타날 수 있다.
- ㄷ. O - ㉑에서 표현형 ㉒은 A_bbdd / aabbD_ 중 하나이다. (나)의 유전자형은 AaBbDd이고, 표현형은 ABD이다. (가)는 상반연관이므로, A_bbdd는 AAbbdd로 확정되고, aabbD_는 aabbDD로 확정된다. 표현형 중 AD가 나타나기 위해서는 ㉒이 무엇이든 (나)에게서 AD가 연관된 염색체를 받기만 하면 되므로 무관하다. B도 마찬가지로 (나)에게서 B 염색체를 받기만 하면 된다. 따라서, AD가 나타날 확률은 1×(1/2), B가 나타날 확률은 1/2이므로, 구하는 확률은 (1/2)×(1/2) = 1/4이다.

12. 생물 다양성 - 생태계 다양성, 종 다양성, 유전적 다양성

먼저, 오른쪽 표를 보자.

식물 종의 개체수를 나타낸 것으로, 종 다양성에 대한 자료이다.

(가)는 (나)에 비해서 종들의 개체수 분포가 고르기 때문에,

종 다양성은 (가) > (나)이다.

따라서, A는 종 다양성이고, B는 생태계 다양성이다.

ㄱ. X - A(종 다양성)는 (가) > 나 이다.

ㄴ. O - 밀도 = 개체 수 / 서식지의 면적이므로

(가)와 (나)는 @의 개체수가 동일하고 면적도 동일하다.

따라서, @의 밀도는 (가)와 (나)가 같다.

ㄷ. O - B(생태계 다양성)는 지구 상에 존재하는 여러 환경의 다양성을 뜻하므로, 비생물적 환경 요인의 다양함을 포함한다.

13. 염색체 & 핵형 비교

주어진 세포의 그림을 비교해서 분류해보자.

염색체가 두 쌍 이상 크게 다른 그림을 찾아보면,

(가), (다), (마) 세포 / (나), (라) 세포 이렇게 크게 두 분류로 나뉜다.

따라서, (가), (다), (마) 세포를 A종, (나), (라) 세포를 B종이라고 하자.

(가), (다), (마) 세포 : A종의 그림을 비교해보자.

다른 건 동일한데 검정색 염색체만 크기가 큰 것과 작은 게 있다.

따라서, A종의 경우, 검정색 염색체가 성 염색체이고,

큰 염색체가 X, 작은 염색체가 Y이다.

(다)와 (마)는 Y 염색체가 있으므로 수컷인 XY이지만,

(가)는 X 염색체 하나만 있어서 암컷인지 수컷인지 확정하지 못하겠다.

문제의 나머지 조건과 (나)와 (라) 세포 : B종 그림을 통해 확정하자.

(나)와 (라) 세포 : B종의 그림을 비교해보자.

(나)와 (라) 세포도 A종과 동일하게 검정색 염색체의 크기가 다르다.

따라서, B종의 경우도, 검정색 염색체가 성 염색체이고,

큰 염색체가 X, 작은 염색체가 Y이다.

(나)는 XX 염색체 쌍이 보이기 때문에, 암컷이고

(라)는 Y 염색체가 보이기 때문에, 수컷이고 XY이다.

서로 다른 새 개체 A, B, C 중 A와 B가 같은 종이기 때문에

하나는 XX, 남은 하나는 XY이고, 나머지 C는 XX 혹은 XY이다.

그렇다면, (가)가 만약 암컷이라면 성별이 다른 개체가 넷이나 되므로

(가)는 XY인 수컷의 감수 1분열 결과 생성된 X이다.

따라서, (가), (다), (마) = C 이고 (나), (라) 는 각각 A, B 중 하나이다.

ㄱ. X - (가)와 (다)는 모두 C의 세포이다.

ㄴ. O - (가) - X 염색체 수 = 1, 상염색체 수 = 2 이고,

(나) - X 염색체 수 = 2, 상염색체 수 = 4 이므로,

(X 염색체 수 / 상염색체 수) = 1/2로 (가), (나) 모두 같다.

ㄷ. X - 부계로부터 X염색체를 물려받은 개체는 암컷인 XX인데

문제에서 암컷은 (나) 하나뿐이다.

14. 군집 내 상호 작용

먼저, 왼쪽 그림을 보자.

종 A와 B 모두 단독 배양했을 때의 환경 수용력 K보다 상승했다.

즉, 종 A와 B 모두 이익인 상황이다.

㉠은 손해인 한 종이 생기는 상호작용이다.

따라서, ㉡이 왼쪽의 A와 B 사이에서 일어나고, ㉢은 이익이다.

한 종이 손해이고 이익인 ㉠은 기생이고

두 종 모두 이익인 ㉡은 상리공생이다.

표를 완성시켜보자.

| 상호 작용 | 종 1 | 종 2 |
|-----------|-----|--------|
| ㉠ : 기생 | 손해 | ㉢ : 이익 |
| ㉡ : 상리 공생 | 이익 | ㉢ : 이익 |

ㄱ. O - 종(개체군)은 환경 저항 때문에 J자형 성장 곡선이 아닌 S자형 성장 곡선을 나타낸다. 따라서 개체수가 정체하는 구간인

I에서는 환경저항으로 인해 개체수가 더 이상 증가하지 못한다.

ㄴ. X - 경쟁은 두 종 모두 손해를 보거나 심하면 한 종이

멸종하기까지 하는 매우 손해가 큰 상호작용이다.

ㄷ. X - ㉡ : 상리 공생은 생태적 지위가 다른 두 종 사이에서 일어나며

만약, 생태적 지위가 동일해서 겹치게 되면

경쟁 혹은 이를 피하기 위해 분서가 일어난다.

15. 근육 원섬유 마디 - 골격근의 수축

X는 근육 원섬유 마디로 골격근 수축 시 X의 길이가 감소하고, 이완 시 X의 길이가 증가한다.

t2일 때 보다 t1일 때 ㉠, ㉡, ㉢의 길이를 설명해 주는데 t1, t2 중 무엇이 수축할 때이고 무엇이 이완할 때인지 찾아보자.

| | | | |
|----|----|----|----|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| 수축 | 감소 | 감소 | 증가 |
| 이완 | 증가 | 증가 | 감소 |

따라서, t1일 때 보다 t2일 때 ㉠ 하나는 감소, ㉡, ㉢ 둘은 증가한다. 따라서, t1이 수축, t2가 이완할 때이다.

t1일 때 보다 t2일 때 감소하는 ㉠ = ㉢ 이다. ㉡와 ㉢는 무엇이 ㉠인지, ㉡인지 확정할 수 없겠다.

구한 조건을 활용해서, 표를 완성하자.

| | | | |
|---------|------------|------------|-------|
| | ㉠ : ㉡ or ㉢ | ㉡ : ㉡ or ㉢ | ㉢ : ㉠ |
| 수축 : t1 | 감소 | 감소 | 증가 |
| 이완 : t2 | 증가 | 증가 | 감소 |

마지막 조건은, (X의 길이 / ㉠의 길이)가 t1(수축)일 때 5, t2(이완)일 때 3이다.

t1일 때, ㉠의 길이를 k라고 하면, X의 길이는 5k이다.

t2일 때, ㉢(㉠)가 0.2μm 감소하므로, ㉠은 가운데를 중심으로 왼쪽이 0.2μm 증가, 오른쪽이 0.2μm 증가하므로 총 0.4μm 증가한다. 마찬가지로, X의 길이도 가운데를 중심으로 왼쪽이 0.2μm 증가, 오른쪽이 0.2μm 증가하므로 총 0.4μm 증가한다.

따라서, $(5k + 0.4) / (k + 0.4) = 3$ 이다. 간단한 방정식을 계산하면, $5k + 0.4 = 3k + 1.2$ 따라서, $k = 0.4$ 이다.

정리하면, 수축할 때 ㉠의 길이는 0.4μm, 이완할 때는 0.8μm 이다. ㉡과 ㉢의 길이는 특정하기 어렵지만, 증감은 확실히 알 수 있다. ㉡은 t1(수축)일 때의 길이 + 0.2μm = t2(이완)일 때의 길이 ㉢은 t1(수축)일 때의 길이 - 0.2μm = t2(이완)일 때의 길이 수축할 때 X의 길이는 2.0μm / 이완할 때 X의 길이는 2.4μm 이다. 여전히, ㉡와 ㉢는 특정 하나로 결정할 수 없다.

- ㄱ. O - A대와 I대가 겹치는 부분인 ㉢은 전자현미경에서 가장 어렵게 관찰된다.
- ㄴ. O - t2일 때 X의 길이 / t1일 때 X의 길이 = $2.4 / 2.0 = 6/5 < 5/3$ 이다.
- ㄷ. X - ㉡와 ㉢는 특정 하나로 정할 수는 없지만, ㉠과 ㉡ 중 하나로 두 개의 합은 변함없다. t1(수축)에서 t2(이완)가 될 때, ㉠은 0.4μm 증가하고, ㉡은 0.2μm 증가한다. 따라서 (㉡의 길이 + ㉢의 길이)는 t2일 때가 t1일 때보다 0.6μm 길다.

16. 염색체 비분리 - 상염색체, 성염색체

이 유전병의 대립 유전자는 우열 관계가 분명한 단일 인자 유전이고, 이들은 21번 염색체 혹은 X 염색체에 존재하므로 이 유전병은 상염색체, 성염색체 유전 중 하나이다.

먼저, 표를 보자.

| | | | | |
|-----|-----|-----|----|----|
| 구성원 | 어머니 | 아버지 | 누나 | 철수 |
| 표현형 | ㉠ | ㉠ | ㉡ | ㉡ |

어떤 것을 특정하기에는 조건이 부족하다. 3번째 조건을 보니, 부모 중 한 사람은 한 가지 대립 유전자만 갖는 동형접합(순종)이라고 주어졌다.

비분리와 관련된 나머지 조건을 해석하면, 비분리는 부모 중 한 명에게 딱 한 번 일어나고, 자식 중 한 명에게만 비분리된 생식세포를 전해준다.

3번째 조건과 비분리 조건, 유전 풀이를 통해서 어떤 염색체 유전인지 정상 유전자와 유전병 발현 인자 중 무엇이 우성이고 열성인지 찾자. 유전병 인자를 기준으로 정상에 대해 우성, 열성일 때로 나눠서 보자.

- I) 상염색체 유전
 - i) 우성 : 어머니가 우성 순종이든 아버지가 우성 순종이든 비분리된 생식세포를 받더라도 적어도 한 명은 유전병이 발현되므로 모순이다.
 - ii) 열성 : 어머니가 열성 순종이면 아버지도 표현형이 같으므로 열성 순종이고, 그 역도 마찬가지이다. 즉, 열성 부모에게서 우성 자식이 나올 수 없다. 모순이다.

- II) 성염색체 유전
 - i) 우성 : 어머니가 우성 순종이면 자식에게 반드시 우성인 유전병 발현 인자를 주기 때문에 모순이다. 아버지가 우성 순종이면 누나에게 정상적으로 분열된 생식세포를 주면 모순이다. 아버지가 성염색체에서 비분리가 일어나서 22+O인 생식세포를 주면 정상인 어머니의 22+X(정상, 열성) 생식세포와 만나 태어날 수 있다. 철수의 경우는 아버지에게서 정상인 22+Y 생식세포를 어머니에게서 22+X(정상, 열성) 생식세포를 받아 조건을 성립한다.
 - ii) 열성 : 어머니가 열성 순종이면 아버지도 표현형이 같으므로 열성 순종이고, 그 역도 마찬가지이다. 상염색체 열성 유전과 같다. 즉, 열성 부모에게서 우성 자식이 나올 수 없다. 모순이다.

결국, 정리해보면 유전병은 우성이고 ㉠이며, 정상은 열성이며 ㉡이다.

| | | | | |
|-----|---------|---------|--------|--------|
| 구성원 | 어머니 | 아버지 | 누나 | 철수 |
| 표현형 | ㉠ : 유전병 | ㉠ : 유전병 | ㉡ : 정상 | ㉡ : 정상 |

따라서, ㉠ : 22+O (비분리), ㉡ : 22+X, ㉢ : 22+Y, ㉣ : 22+X 이다.

- ㄱ. O - 염색체 비분리는 1분열인지 2분열인지는 확정할 수 없으나 아버지의 X염색체에서 일어났다.
- ㄴ. X - 철수는 핵형이 정상인 44+XY (정상 남자) 이다.
- ㄷ. O - (세포 1개당 X 염색체 수 / 상염색체 수) = $\frac{㉠(1/22) + ㉡(1/22)}{㉢(0/22) + ㉣(0/22)}$ 이다.

17. 다인자 유전

피부색은 서로 다른 상염색체에 있는 @쌍의 대립 유전자에 의해 결정된다고 하니 독립인 건 확인했다.

2번 3번 조건을 통해서 대문자의 수로 표현형이 결정되므로 다인자 유전인 것도 확인했다.

표가 주어졌다.

| | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|
| 유전자형 | (가) | (나) | (다) | (라) |
| ㉠의 수 | @ | ? | ⑥ | @ |

서로 다른 @쌍에 의해서 결정되는데 ㉠의 수가 @개다?! 간단한 예시로 AABbdd 나 AaBbDd와 같은 경우가 있다. 흠... 유전자형을 특정하기 어렵다. 다음 조건을 보자.

(가)와 (나)가 만나서 ㉠을 갖지 않는 자손이 태어난다고 한다. 즉, 모든 대립유전자가 소문자인 경우(aabbdd...)가 있다고 하니 (가)의 유전자형은 반드시 모든 대립유전자에 대해서 소문자가 있어야 된다. 당연히 대문자도 하나씩 있어야 한다. 위에 예시에서 그랬듯...

즉, (가) : AaBbDd...이다.

이제 대립유전자가 몇 쌍인지, 즉, @를 찾아야 겠다. (가)와 (나)인 개체 사이에서 태어나는 자손 중 (가)일 확률이 1/8 이나 (나)의 유전자형을 알 수 없기 때문에 일단은 보류해두자.

다음 조건을 보니, (나), (다) 사이에서 (가)인 개체만 태어난다고 한다. 두 개체사이에서 예외 없이 모든 대립유전자가 잡종인 경우가 뭘까?! 생각해보니 대문자 순종과 소문자 순종 사이에서 태어날 수 있다!

그런데, (가)와 (나) 사이에서 ALL 소문자인 개체가 나온다고 했으니 (나)는 ALL 대문자가 아닌 ALL 소문자겠다. 그러면, (다)가 자연스럽게 ALL 대문자겠다. 마지막에는 (가) = (라) 라고 하니, (라)도 AaBbDd...겠다.

이제, 다시 보류해둔 조건으로 가서 @를 구해보자. (가) : AaBbDd... 와 (나) : aabbdd... 사이에서 태어난 자손의 유전자형이 (가) : AaBbDd... 일 확률이 1/8이라고 한다. (나)는 무조건 소문자니까 (가)가 어떤 걸 주는지에 따라서 결정된다. 둘 사이에서 (가)가 태어나려면 (가)는 무조건 대문자를 내놓아야 한다.

모든 대립유전자가 독립이고, 대립유전자가 @쌍이 있으며, 대립유전자 중 대문자를 줄 확률이 각각 1/2이다. 따라서, (가)가 태어날 확률은 $(1/2)^@$ 이다. $(1/2)^@ = 1/8$ 이므로 @ = 3이고, 모든 유전자형이 결정된다. (가), (라) = AaBbDd, (나) = aabbdd, (다) = AABBDD 이다.

이제, 표를 완성시켜서 마무리하자.

| | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|
| 유전자형 | (가) | (나) | (다) | (라) |
| ㉠의 수 | 3 | 0 | 6 | 3 |

17. 다인자 유전

- ㄱ. $O - ⑥ = 6$ 이다.
- ㄴ. X - (다)가 무조건 대문자만 주기 때문에 피부색은 대문자가 3~6개까지 가능하므로 5가지가 나타난다.
- ㄷ. X - (가)와 (라)가 교배하는 것은 자가교배와 마찬가지로 AABbdd, AAbbDd, AaBBdd, AaBbDd, AabbDD, aaBBDD, aaBbDD인 경우로 나눠서 계산할 수 있지만 너무 어리석다... 경우의 수로 보면, 6자리 중 3자리에 대문자가 있는 경우, 즉, Aa와 aA를 다른 것으로 생각하고 조합을 사용하는 것이다. 먼저, 나올 수 있는 전체의 경우의 수 = $2^6 = 64$ 이다. 대문자가 3개 나오는 경우의 수 = $6C3 = 20$ 이다. 따라서, 구하는 확률은 $20/64$ 로 $5/16$ 이다.

18. 감수 분열 - 세포 분열 시기

문제의 그림은 XY인 동물의 세포라고 하는데, 4개 다 다르게 생겨서 상동염색체는 없고, 물론 성염색체도 알 수 없다.

2번째 조건을 보자.

세포 ㉠에서 DNA 복제가 일어나서 세포 ㉡이 됐다고 한다.

㉠은 G1기의 세포이고, ㉡은 S기를 거친 이후의 세포이다.

다음으로 보니, 이번에는 ㉢이 세포질 분열하여 ㉣이 형성됐다고 한다. 그리고 ㉠, ㉡, ㉣ 중 하나는 분열기 중 후기 세포이고, 또 마지막 조건을 보니 아까 본 그림이 셋 중 하나라고 한다.

문제의 그림이 ㉢이라면, 복제 이후 세포질분열이 되기 이전이므로 상동염색체가 관찰되어야 하는데 그렇지 않다. 모순이다.

즉, 그림은 ㉣ 세포이고 분열 시기는 감수 2분열 중기 세포이다. 그러면 ㉡은 감수 1분열 후기 세포로 결정된다.

정리하면, ㉠ : G1기, ㉡ : 감수 1분열 후기, ㉣ : 감수 2분열 중기이다.

- ㄱ. X - ㉠ : $44+XY$, ㉡ : $22+XX$ OR $22+YY$ 이다. 둘은 DNA 상대량이 다르다.
- ㄴ. O - 감수 1분열에서는 상동 염색체가 분리된다.
- ㄷ. X - ㉢ : $44+XY$ 로 염색 분체 수는 염색체 46개의 두 배인 92개다. ㉣ : $22+XX$ OR $22+YY$ 로 염색체 수는 23개이다. (㉢의 염색 분체 수 / ㉣의 염색체 수) = $92 / 23 = 4$ 이다.

19. 유전 - 가계도 + 혈액형 분석

먼저, 첫 번째 조건을 보니 ㉠, ㉡ 중 하나가 ABO식 혈액형과 연관된, 즉, 상염색체 유전이라고 한다. 나머지 하나는 상염색체일 수도 성염색체일 수도 있지만, 아무래도 성염색체일 확률이 높겠지 싶다.

그럼 다음 조건을 보자.

㉠ : R>r, ㉡ : T>t

대립 유전자가 우열 관계가 뚜렷한 단일 인자 유전이라는 조건이다.

그 다음 조건을 보자.

3의 ㉠, ㉡ 표현형을 모른다고 한다. 흠...

또, 그 다음 조건을 보자.

6과 7은 형질 ㉡을 결정하는 T와 t 중 하나를 같은 수만큼 가진다는데, 만약, 상염색체에 같은 수를 가지면, 무조건 표현형과 유전자형이 같다. 이런 표현은, X염색체 유전에 대한 설명인 경우가 많지만, 분석해보자. 예를 들어, 둘 다 T가 두 개이거나 하나이면 우성 표현형이, 둘 다 t만 두 개이면 열성 표현형으로 표현형이 같아야 한다.

그런데 가계도를 보면, 6, 7번은 표현형이 6 : 정상, 7 : ㉡ 이다. 가계도에 여자도 ㉡이 나타나서, ㉡ 형질이 X염색체 유전임을 알았다. 첫 조건으로, ㉠은 ABO식 혈액형 유전자와 연관된 상염색체 유전이다.

이제, 마지막 조건만 해석하고, 가계도를 채워 나가면 되겠다.

마지막 조건은 혈액의 수혈(소량)과 관련된 조건이다. 대량 수혈의 경우는 같은 혈액형(ABO&Rh)이어야만 가능하지만, 소량 수혈의 경우는 가능한 경우가 있다.

이는, 혈액을 주는 자의 적혈구의 응집원(A, B)과 혈액을 받는 자의 응집소(α, β) 사이에 응집 반응이 일어나지 않는 경우에 가능하다.

마지막 조건에서, 두 번째 줄을 보니 4번에 대해 소량 수혈이 불가능한 경우에 대한 언급이 없다. 즉, 4번은 모두에게 소량 수혈이 가능한 ABO 혈액형인 O형(OO)이다. 6번과 7번은 서로에게 수혈이 불가능하고 5번에게는 둘 다 가능한 걸로 보아 둘 중 하나는 A형(AO)이고 나머지 하나는 B형(BO)이다. 따라서 5번은 자신과 혈액형이 다른 모두에게 소량수혈 할 수 없는 ABO 혈액형인 AB형(AB)이다.

하지만, 여전히 6, 7번의 ABO 혈액형은 확정할 수 없다.

4번이 O형(OO)이 되기 위해서는 1, 2번은 각각 적어도 하나의 O를 가진다. 마지막 조건의 첫 번째 줄을 활용하자.

1번의 혈구(응집원)와 3번의 혈장(응집소)이 응집반응을 하고, 2번의 혈구(응집원)와 3번의 혈장(응집소)이 응집반응을 한다,

하나의 O를 가진다고 했을 때, 1, 2번은 AO, BO, OO 중 하나이다. 하지만 OO이면 응집원이 하나도 없기 때문에 응집반응이 불가능하다.

따라서 1,2번은 AO나 BO 중 하나이고 3번은 O형이다.

이제 가계도를 완성하자.

1, 2번은 AO와 BO 중 무엇인지 모르기 때문에 FO, GO라고 하고 6, 7번도 AO와 BO 중 무엇인지 모르기 때문에 HO, JO라고 하자.

ABO식 혈액형을 적어보면,

- 1. FO - 2. GO
3. OO / 4. OO - 5. AB
6. HO / 7. JO / ??

19. 유전 - 가계도 + 혈액형 분석

이제, 나머지를 채워나가기 전에 가계도를 통해서 ㉠, ㉡ 형질의 우성, 열성을 알아보자. ㉠ : 상염색체 유전 (ABO), ㉡ : X염색체 유전 ㉡이 X염색체 유전이라 우열판단이 더 쉬우니 먼저 알아보자.

5번(부) - 6번(녀)을 보자.

㉡이 우성 유전이라면 아버지는 우성 형질이고 반드시 X염색체를 딸인 6번에게 주기 때문에 딸도 반드시 ㉡ 형질을 나타내는 우성이다. 하지만, 딸은 ㉡을 나타내지 않으므로 ㉡은 X염색체 열성 유전이다. 즉, ㉡은 X염색체 열성 유전이고, T는 정상, t는 ㉡ 유전병 유전자이다. 아까 6과 7은 T와 t 중 하나를 같은 수만큼 가진다는 4번 조건으로도 알 수 있다. 우성유전이면 모두 ㉡ 유전병 유전자를 가지므로, 모순이다.

그럼, ㉡은 정했으니, 이제 ㉠을 정하면 된다.

4번(모), 5번(부)과 6번(녀), 7번(자)을 보자.

㉠이 열성 유전이라면, R은 정상, r은 ㉠ 유전병 유전자이다.

4번은 rr이고 5번은 Rr 혹은 RR일 것이다.

5번이 Rr이면 6, 7번은 Rr이나 rr 중 각각 하나일 것이다.

모두 rr이 될 수 없는 이유는 6번과 7번이 혈액형이 다르기 때문에, 엄마로부터는 O 유전자를 받으므로 아빠로부터는 각각 A나 B 유전자를 받는다. 따라서 연관된 대립유전자가 다를 수 밖에 없다.

5번이 RR이면 6, 7번은 Rr일 것이다.

두 경우를 보니, 6, 7번이 모두 유전병 ㉠을 나타낼 수 없다.

따라서, ㉠은 우성 유전(형질)이고, R은 ㉠ 유전병, r은 정상 유전자이다.

가계도를 완성하자.

- 1. A(r)O(r)/tt - 2. B(r)O(R)/TY
3. O(r)O(R)/tY / 4. O(r)O(R)/Tt - 5.A(r)B(r)/tY
6. A(r)O(R)/Tt / 7. B(r)O(R)/tY / ??
6. B(r)O(R).Tt / 7. A(R)O(R)/tY / ??
6, 7번은 A, B형이 각각 누구인지는 확정할 수 없다.

ㄱ. O - 4에게서 O(R) 연관 유전자와 T(X) 유전자를 받았다.

ㄴ. X - ㉠ : Rr로 유전자형까지 같은 우성, 혈액형 : 둘 다 O형 이다.

ㄷ. O - ABO식 혈액형과 ㉠이 연관되어 있으므로 같이 생각하면 되고, ㉡은 보기 ㄷ의 발문에서 여자라고 전제가 되어 있으므로 Y는 애초에 염두할 필요없다.

따라서, ㉡인 경우는 tt인 경우로 확률은 1/2이다.

A형 여자이면서 ㉠인 경우는 O(R)A(r)인 경우이며, 확률은 1/4이다. 구하는 확률은 (1/2)×(1/4) = 1/8 이다.

20. 2차 방어 작용 - 체액성 면역 (1차 면역, 2차 면역)

t1과 t2에 항원 X를 주입했으므로 정상적인 경우라면, 1차 방어작용 (비특이적 면역)과 2차 방어작용 (특이적 면역)이 발생. 2번 조건을 보면, t1 시점 이후에 체액성 면역이 발생했고, 3번 조건을 보면, t2 시점 이후에 2차 면역 반응이 일어났다.

세포 ㉠은 형질세포, 세포 ㉡은 기억세포이다.

ㄱ. X - t1~t2 사이에는 2차 방어작용 중 1차 면역 반응에 속하는 체액성 면역이 일어났다.

ㄴ. O - t1~t2 사이에는 B림프구가 ㉠ : 형질세포와 ㉡ : 기억세포로, t2 이후에는 ㉡ : 기억세포가 ㉠ : 형질세포로 분화했다.

ㄷ. O - t2 이후에는 2차 면역이 일어났으므로, ㉠ : 형질세포는 항체를 생성하고, ㉡ : 기억세포는 형질세포로 분화된다.