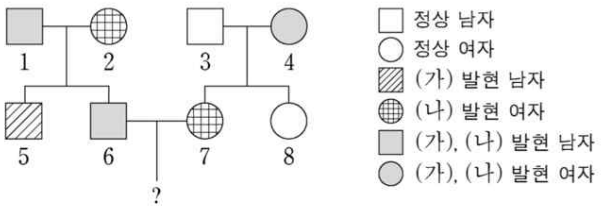
기출 Preview

[22.09.17]

17. 다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해 각각 완전 우성이다.
○ 가계도는 구성원 1~8에게서 (가)와 (나)의 발현 여부를 나타낸 것이다.



○ 표는 구성원 ㉠~㉥에서 체세포 1개당 A와 b의 DNA 상대량을 더한 값을 나타낸 것이다. ㉠~㉢은 1, 2, 5를 순서 없이 나타낸 것이고, ㉣~㉥은 3, 4, 8을 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	㉠	㉡	㉢	㉣	㉤	㉥
A와 b의 DNA 상대량을 더한 값	0	1	2	1	2	3

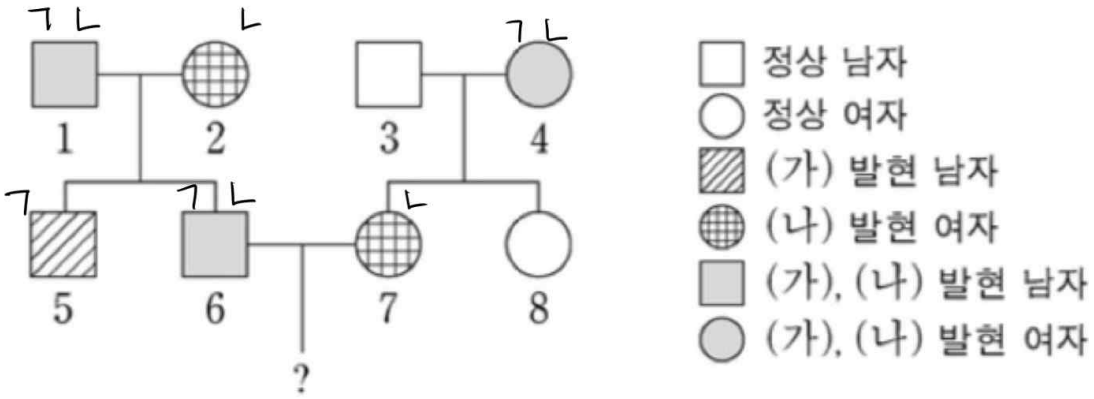
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, A, a, B, b 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (가)의 유전자는 상염색체에 있다.
ㄴ. 8은 ㉤이다.
ㄷ. 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이의 (가)와 (나)의 표현형이 모두 ㉡과 같을 확률은 $\frac{1}{8}$이다.

① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A+b를 우리에게 제시해주고 각 구성원을 숨겼다. **<u>합에 대한 정보를 해석할 때는 가장 정보가 많은 숫자부터 해석</u>**하는 것이 좋다. 어떤 숫자가 가장 정보가 많을까? 당연히 0이다. 0을 만들어내는 조합은 0+0밖에 존재하지 않기 때문이다. 다음으로는 1이나 3이 좋다. 1이나 3은 1+0, 0+1 / 2+1, 1+2로 2가지 경우의 수가 존재하는데 이것은 표현형 정보를 보면서 결정해야 한다. 마지막으로 2를 결정해주는 것이 좋다. 2는 2+0 / 1+1 / 0+2로 3가지나 조합이 만들어질 수 있기에 정보가 부족한 상황에서 무턱대고 덤벼들었다가 시간을 허비할 가능성이 높다. 이러한 내용들을 인지하고 먼저 그림 정보를 정리해주자.



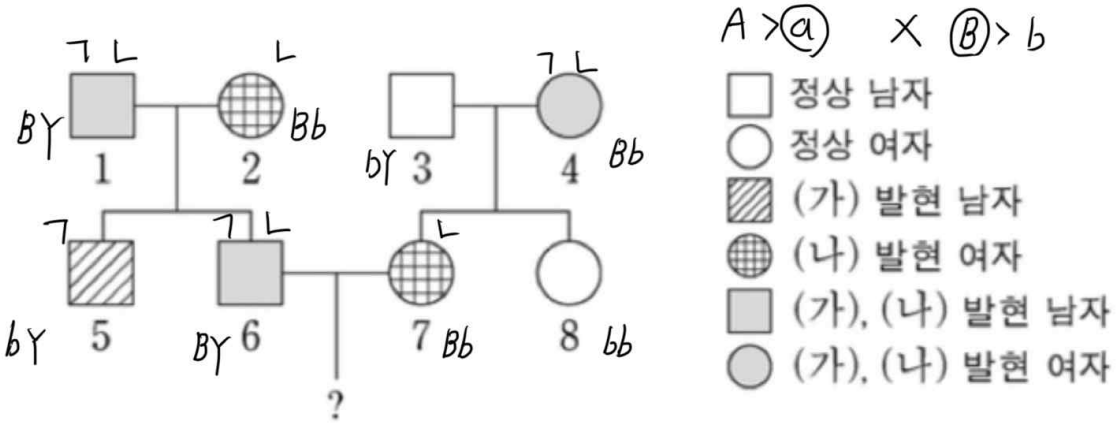
구성원	㉠	㉡	㉢	㉣	㉤	㉥
A+b	0	1	2	1	2	3

먼저 0을 살펴보자. 0은 0+0으로 A와 b를 가지지 않는다. 즉 a와 B만을 가지는 구성원이 있다는 것이다. 구성원 1, 2, 5중에서 B만을 가진 인원이 있다는 것인데**(우2열0 태도)**, 구성원 2와 5는 B만을 가질 수 없겠다. **(표현형이 다른 1촌은 열성 유전자 or Y 염색체를 공유)**

따라서 구성원 1이 B만을 가지며 **㉠은 구성원 1**이다. 구성원 1의 b의 DNA 상대량이 0인데, **우성 동형이 불가능하니 구성원 1의 (나)에 대한 유전자형은 BY**가 되겠다.

따라서 **(나)는 X 염색체 우성 유전**이다. **(X, Ⓑ>b)** 나머지 구성원들에 대해서도 (나)의 유전자형을 모두 정리하자.

또한 1은 A를 가지고 있지 않은데 (가)가 발현했으니, **(가)는 열성 형질**이다.
구성원 5는 A를 가지지 않고, b를 1개 가지니, **㉡은 구성원 5**이다.
자동으로 **㉢은 구성원 2**이다. 아래와 같이 정리하자.



구성원	㉠ = 1	㉡ = 5	㉢ = 2	㉣	㉤	㉥
A+b	0 [0+0]	1 [0+1]	2 [1+1]	1	2	3

이제 ㉣~㉤이 구성원 3, 4, 8 중 무엇인지 찾아보자.

우열 관계를 참고하면, **구성원 4의 유전자형은 aaBb**이니 A+b가 1인 **㉣이 구성원 4**이다.

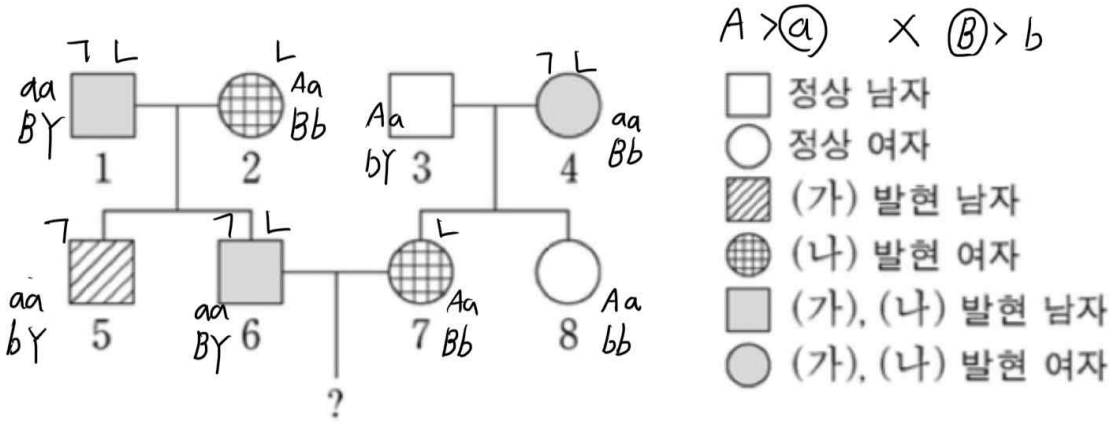
구성원 8의 유전자형은 Aabb이니 A+b가 3인 **㉤이 구성원 8**이다.

자연스럽게 **㉢이 구성원 3**이다. 이미 구성원 3은 b를 1개 가지니, A를 1개만 가지고 있다.

구성원	㉠ = 1	㉡ = 5	㉢ = 2	㉣ = 4	㉢ = 3	㉤ = 8
A+b	0 [0+0]	1 [0+1]	2 [1+1]	1 [0+1]	2 [1+1]	3 [1+2]

여기까지 있는 정보들을 모두 정리했는데, **유전 형질 (가)의 상/성 정보가 안 나왔다**. 모르는 정보니까 안 알아내도 되는 것일까? 하지만 그렇다기에는 선지 ㄱ에서 직접적으로 물어보고 있기도 하고, 독립과 연관에 따라서 선지 ㄷ의 확률도 달라지기에 억지로 유전 형질 (가)의 상/성 정보를 알아내야 할 것 같다. **마음 같아서는 그냥 독립이라고 가정하고 풀어내고 싶지만, 두 형질 (가)와 (나)가 혹시 하나의 염색체에 연관되어 있을지 모르니 확인하자.**

만약 (가)와 (나)가 연관되어 있다면, 2-5-6에서 구성원 2는 구성원 5와 6에게 **서로 다른 X 염색체**를 주었을 것이다. 그러면 **5와 6은 각각 염색체 ab와 aB를 어머니인 2에게 받은 격**이 되고 **구성원 2의 유전자형과 연관 상태는 ab/aB**가 된다. 하지만 이는 구성원 2의 (가) 표현형이 정상이라는 그림 정보에 모순이다. 따라서 (가)와 (나)는 독립이고 **(가)는 상염색체 위에 존재**한다. 이제 가계도 정보를 모두 정리하자.



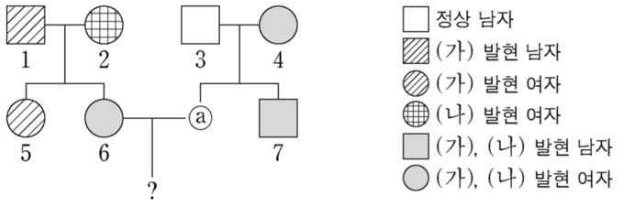
ㄱ. (가)의 유전자는 상염색체 위에 존재한다.
ㄴ. 8은 ㉤이다.
ㄷ. 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때 (가)와 (나)의 표현형이 ㉡(=5)와 같을 확률을 구해 보자. [열성, 열성]이 태어나야 하니 $\frac{1}{2}\times\frac{1}{4}=\frac{1}{8}$이 정답이다.

위의 문제에서 특별한 점이 있었다면 바로 (가)와 (나)가 독립이라는 것을 알아내는 과정이다. **연관이라고 가정했을 때 모순이 나는 부분이 생기게 되고 이를 통해 두 유전자가 독립**임을 알아냈다. 그런데 현장에서 이러한 상황이 나오면 꼭 증명해야 할까?

[22.11.19]

19. 다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 H와 h에 의해, (나)는 대립유전자 T와 t에 의해 결정된다. H는 h에 대해, T는 t에 대해 각각 완전 우성이다.
○ 가계도는 구성원 ⓐ를 제외한 구성원 1~7에게서 (가)와 (나)의 발현 여부를 나타낸 것이다.



○ 표는 구성원 1, 3, 6, ⓐ에서 체세포 1개당 ㉠과 ㉡의 DNA 상대량을 더한 값을 나타낸 것이다. ㉠은 H와 h 중 하나이고, ㉡은 T와 t 중 하나이다.

구성원	1	3	6	ⓐ
㉠과 ㉡의 DNA 상대량을 더한 값	1	0	3	1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, H, h, T, t 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (나)의 유전자는 X 염색체에 있다.
ㄴ. 4에서 체세포 1개당 ㉡의 DNA 상대량은 1이다.
ㄷ. 6과 ⓐ 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)와 (나)가 모두 발현될 확률은 $\frac{1}{2}$이다.

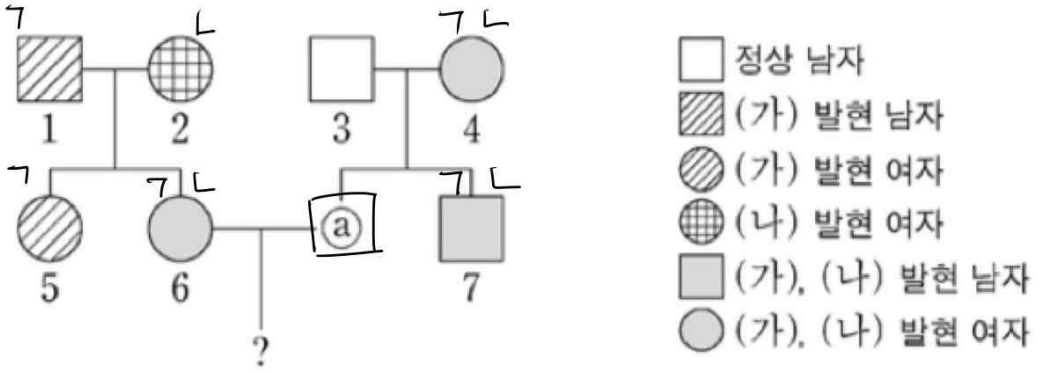
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

대립 유전자 합을 제시할 때, [22.09.17]은 대립 유전자가 무엇인지 알려주고 구성원을 숨겼다면 [22.11.19]는 구성원을 알려주는 대신 대립 유전자의 종류를 숨겼다.

그림 정보에서 우열의 법칙, 열녀우남 법칙 모두 사용이 불가능해 보인다. 그렇다고 대립 유전자를 ㉠과 ㉡으로 숨겨두었기에 **우2열0 태도**와 **우표결 태도**를 바로 사용할 수 없다.

때문에, DNA 상대량 합 정보를 정리하며 ㉠과 ㉡에 대한 정보를 조금 알아낸 이후, **우2열0 태도**나 **우표결 태도**를 적극적으로 이용하자. 크게 2가지 방법으로 표를 정리해볼 수 있다.

(1) 부모 자식은 2-0 관계 불가



구성원	1	3	6	ⓐ
㉠ + ㉡	1	0	3	1

합 정보에서 정보가 많은 0부터 보자. 구성원 3은 자명하게 [0+0]임을 알 수 있다.

다음으로는 구성원 1의 합 1 또는 구성원 6의 합 3을 관찰해보자.

구성원 1과 3의 (가) 표현형이 다르다. 그렇기에 구성원 1의 ㉠에 대한 DNA 상대량은 0일 수 없다. **(특정 대립 유전자 DNA 상대량이 0으로 같은 구성원은 반드시 표현형이 동일하다 - 45pg "DNA 상대량 0-0 관계는 표현형이 동일하다.")**

따라서 **구성원 1의 DNA 상대량은 [1+0]**임을 알 수 있다. **(유전자 ㉠은 1, ㉡은 0임을 순서대로 [1+0]으로 합을 표기하겠다.)**

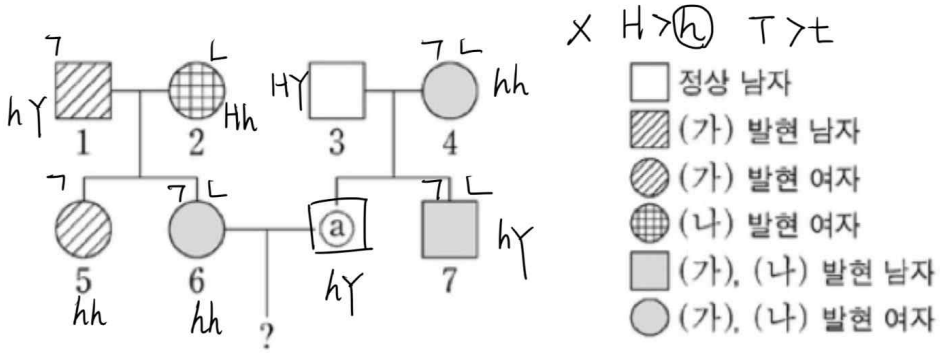
구성원	1	3	6	ⓐ
㉠ + ㉡	1 [1+0]	0 [0+0]	3	1

구성원 6과 1은 1촌 관계이다. 부모 자식은 2-0의 DNA 상대량을 가질 수 없으니 구성원 6은 [1+2]가 불가능하다. 따라서 **구성원 6은 [2+1]**이다.

구성원	1	3	6	ⓐ
㉠ + ㉡	1 [1+0]	0 [0+0]	3 [2+1]	1

구성원 6이 ㉠㉠인데, 부모 1과 2의 표현형이 다르니, ㉠ = h이다. 또한 구성원 6은 (가)를 발현하니 H>ⓗ이다.

구성원 1은 h를 하나만 가지는데 병을 발현하니 **유전형질 (가)를 결정하는 유전자는 X 염색체 위에 존재**한다. **(X, H>ⓗ) (또는 우2열0의 태도에 집중하면, 구성원 3의 대립 유전자 h의 DNA 상대량 0에 집중하여 3-7의 관계를 통해 X 염색체 유전임을 확인해도 된다.)**

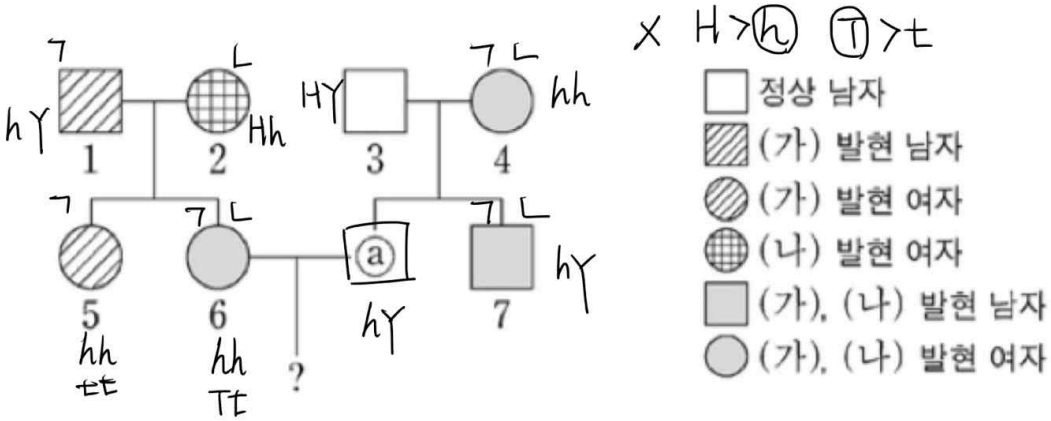


구성원 6의 (나)에 대한 유전자형은 **Tt**이다. 그런데 (나)를 발현하니 Ⓣ>t이다.

구성원 3은 병을 발현하지 않으니, **대립 유전자 T**를 가지지 않는다. **(우표결 태도)**

따라서 Ⓛ=T이다.

ⓐ는 구성원 4로부터 h를 반드시 받기에, **ⓐ의 h+T는 [1+0]**으로 나타난다.



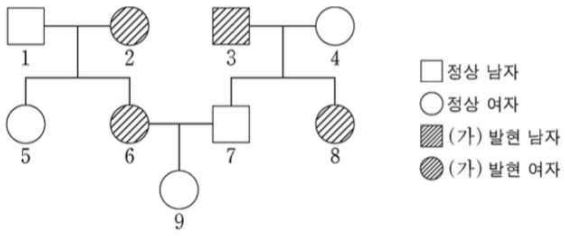
구성원	1	3	6	ⓐ
h + T	1 [1+0]	0 [0+0]	3 [2+1]	1 [1+0]

(나)가 상염색체 위에 존재하는지 X 염색체 위에 존재하는지 확인하자. (ㄱ에서 물어보고 있기도 하고, X 염색체 연관이면 ㄷ에서 물어보는 확률이 달라질 수 있기 때문이다.)

[21.06.17]

17. 다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 R와 r에 의해 결정되며, R는 r에 대해 완전 우성이다.
○ (나)는 상염색체에 있는 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 E, F, G가 있다.
○ (나)의 표현형은 4가지이며, (나)의 유전자형이 EG인 사람과 EE인 사람의 표현형은 같고, 유전자형이 FG인 사람과 FF인 사람의 표현형은 같다.
○ 가계도는 구성원 1~9에게서 (가)의 발현 여부를 나타낸 것이다.



○ $\frac{\text{1, 2, 5, 6 각각의 체세포 1개당 E의 DNA 상대량을 더한 값}}{\text{3, 4, 7, 8 각각의 체세포 1개당 r의 DNA 상대량을 더한 값}} = \frac{3}{2}$
○ 1, 2, 3, 4의 (나)의 표현형은 모두 다르고, 2, 6, 7, 9의 (나)의 표현형도 모두 다르다.
○ 3과 8의 (나)의 유전자형은 이형 접합성이다.

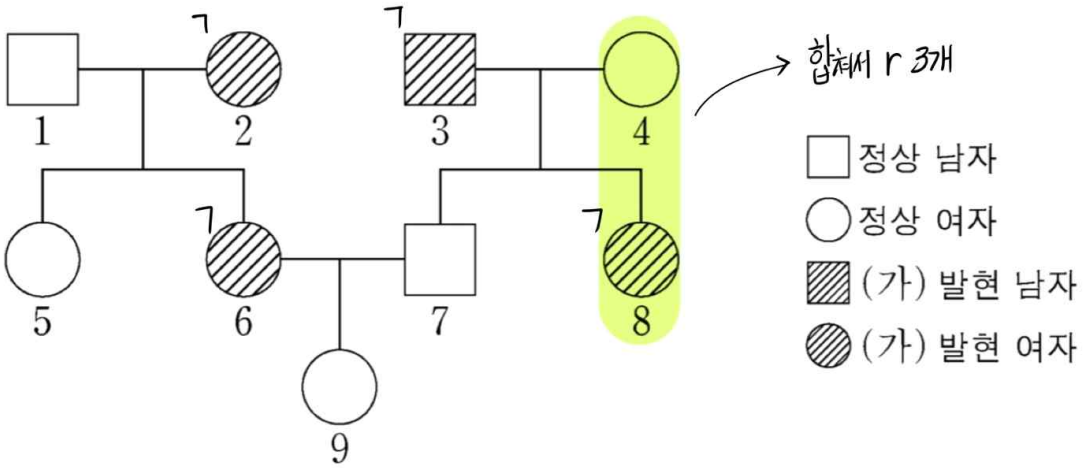
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, E, F, G, R, r 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

<보 기>

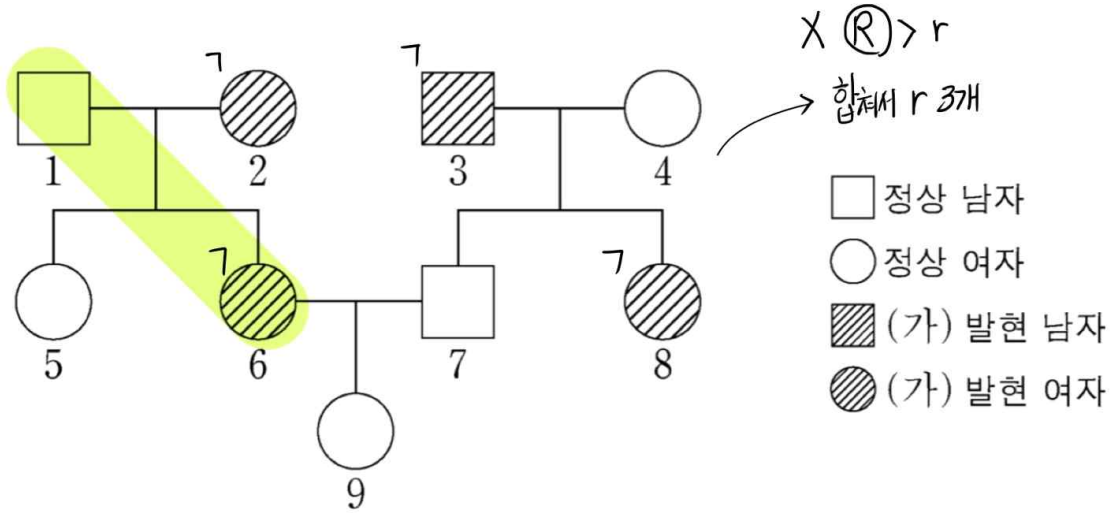
ㄱ. (가)의 유전자는 상염색체에 있다.
ㄴ. 7의 (나)의 유전자형은 동형 접합성이다.
ㄷ. 9의 동생이 태어날 때, 이 아이의 (가)와 (나)의 표현형이 8과 같을 확률은 $\frac{1}{8}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

유전형질 (가)는 R과 r에 의해서 결정되고, **유전 형질 (나)는 상염색체 존재하는 복대립 유전자 E, F, G에 의해서 결정**된다. **우열 관계는 E=F>G**이며, 분수와 복대립 표현형에 대한 정보를 제시하였다. 복대립 표현형 정보는 먼저 해석하기 어려워 보인다. 그러니 분수에 존재하는 r을 먼저 해석하자. 구성원 3, 4, 7, 8이 가지는 열성 유전자 r의 최소 개수를 구해보자.



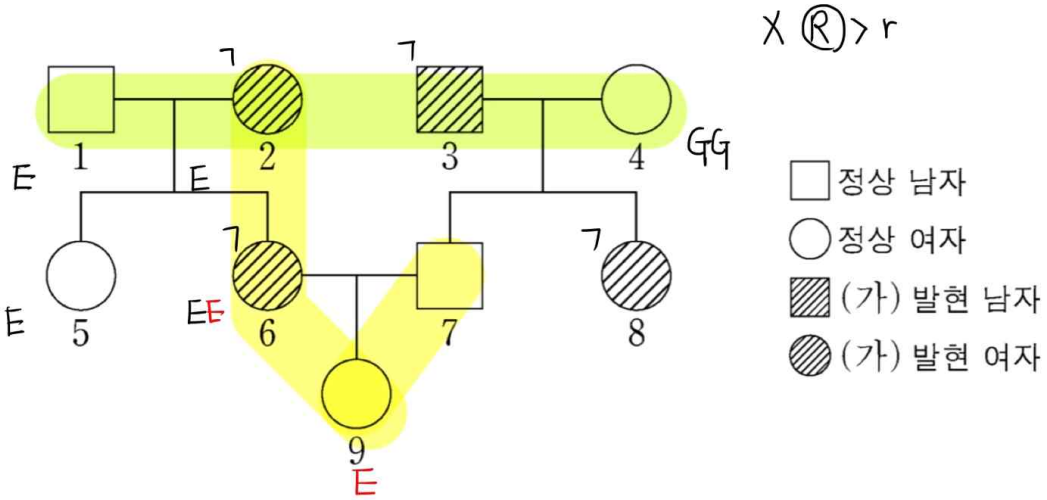
4-8은 표현형이 다른 1촌 여성으로, 둘을 합쳐서 r이 3개 존재한다. 따라서 분수는 $\frac{3}{2}$이 불가능하니, $\frac{6}{4}$이 되어야 한다.



구성원 3, 4, 7, 8이 가지는 대립 유전자 r의 개수는 3개이다. 구성원 4와 8의 r 개수 합이 3이니, 구성원 3과 7을 합쳐서 r을 1개 가진다. 그런데 구성원 3과 7의 표현형이 다르니, 유전형질 (가)를 결정하는 유전자는 X 염색체에 존재한다.

1-6에 의해서 **(가)는 X 염색체 우성 형질**이다. **(열녀우남 Reverse)**

이제 유전형질 (나)를 해석하자. 구성원 1, 2, 3, 4의 (나) 표현형은 모두 다르며, 구성원 2, 6, 7, 9의 (나) 표현형도 모두 다르다. 또한 분수 조건에 의해서 구성원 1, 2, 5, 6이 가지는 E의 합은 6이다. 복대립은 항상 **최열성 표현형**을 먼저 찾도록 하자. 분명 **(나)에 대한 유전자형이 GG인 사람이 1~4 중 한 명 존재**할 것이다.



먼저 구성원 1, 2는 GG가 될 수 없다. 1이나 2가 GG가 되면 분수 조건에 의해서 구성원 5와 6의 유전자형은 EE가 되는데, 부모가 GG이며 자식이 EE를 가지는 경우로 모순이다.

그러면 GG는 구성원 3, 4 중 한 명 있겠다. 문제 마지막 조건에서 구성원 3의 (나)에 대한 유전자형이 이형 접합성이라고 했으니, 구성원 3은 GG가 될 수 없다.

따라서 **구성원 4가 GG**이다. 그러면 구성원 1, 2, 3의 표현형은 각각 [EF], [E], [F] 중 하나겠다.

분수 조건을 조금 더 해석하자. 구성원 1, 2, 5, 6은 E를 6개 가지니, **4명 중 2명의 유전자형은 EE가 되며, 나머지 두 명은 E_ 유전자형을 가진다. (3명이 EE이면, 나머지 1명 역시 부모-자식 관계로 E를 1개 가지게 되어 E를 7개 이상 가지니 모순)**

구성원 1과 2의 (나) 표현형이 다르고, 구성원 2와 5 역시 (나) 표현형이 서로 다르다.

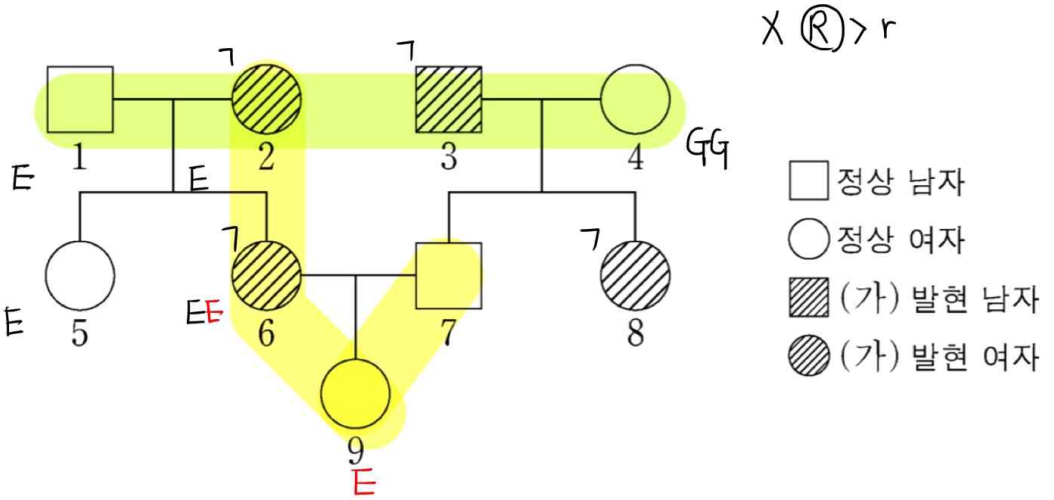
구성원 1과 2의 (나) 표현형이 다르기 위해서는 둘의 표현형 조합이 [EF], [E]일 수밖에 없겠다. 구성원 2와 5 역시 마찬가지로 표현형이 다르기 위해서는 둘의 표현형 조합이 [EF], [E]일 수밖에 없겠다. 따라서 다음 2가지 경우의 수로 나뉜다.

1번 케이스

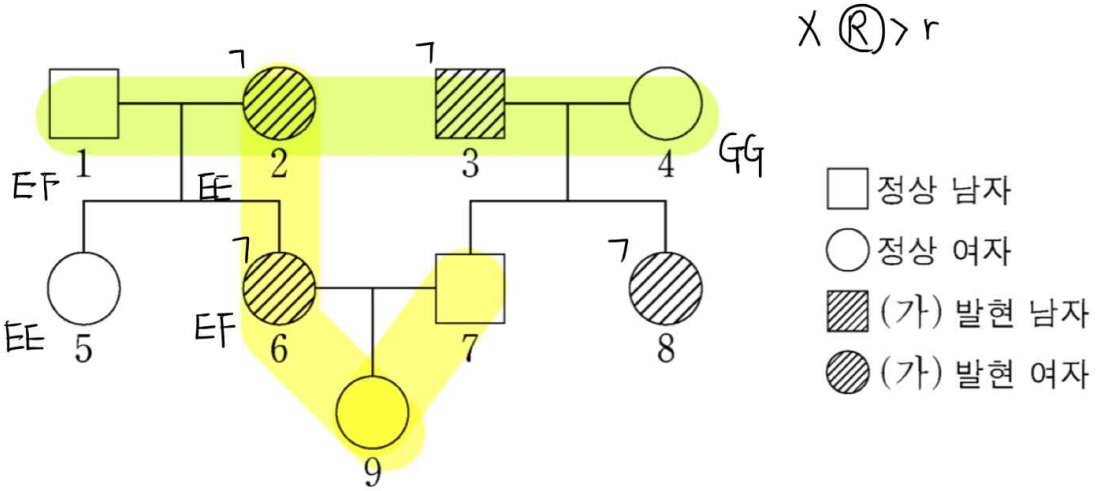
구성원 1	EE	**구성원 2**	E_
구성원 5	E_	**구성원 6**	EE

2번 케이스

구성원 1	E_	**구성원 2**	EE
구성원 5	EE	**구성원 6**	E_



<u>만약 1번 케이스라면,</u> 구성원 9도 E를 가지게 되어 2-6-9 세 사람 중 표현형이 겹치는 사람이 발생할 것이다.

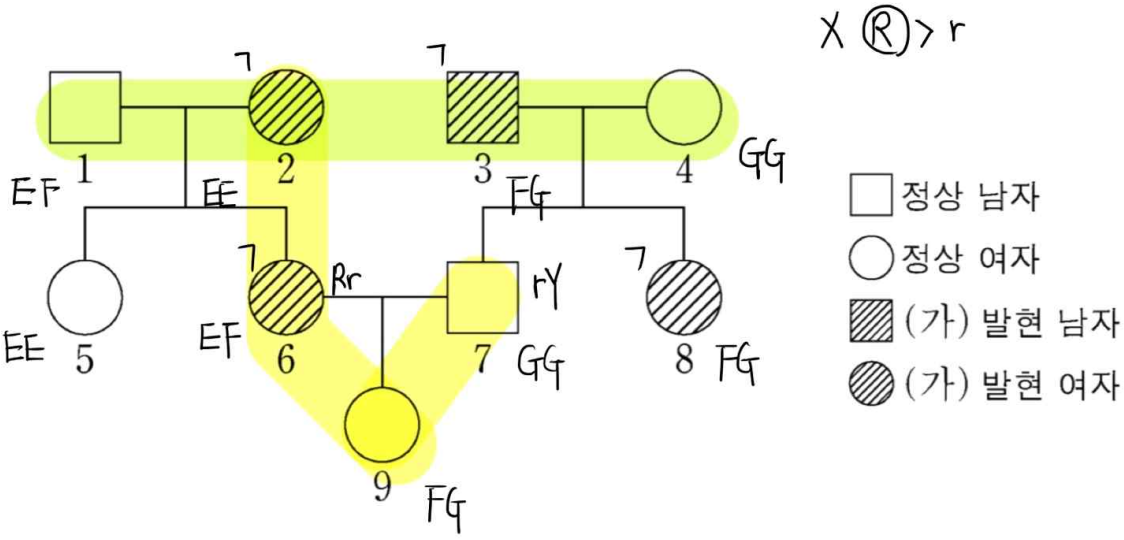


따라서 **2번 케이스가 정답**이다.

구성원 1, 2, 3, 4의 (나) 표현형이 모두 다르다고 했으니, 구성원 3의 (나) 표현형은 [F]이며, 문제 조건에서 이형 접합성이라고 했으니 **구성원 3의 유전자형은 FG**이다.

또한 구성원 2, 6, 7, 9의 (나) 표현형이 모두 다르다고 했는데 구성원 6이 EF라서 구성원 9는 GG가 될 수 없다. **(최열성 집중)** 따라서 구성원 7이 GG이고 구성원 9가 FG가 된다. 마지막으로 구성원 8은 이형 접합성이라는 문제 조건에 따라서 유전자형이 FG이다.

필요한 정보를 아래와 같이 정리하자.



ㄱ. (가) 유전자는 X 염색체 위에 존재한다. ㄴ. 7의 (나)의 유전자형은 GG로 동형접합성이다. ㄷ. 9의 동생이 태어날 때 8과 (가)와 (나)의 표현형이 같을 확률을 구해보자. 8은 [우성, F]이다. 6의 유전자형은 Rr EF, 7의 유전자형은 rY GG이니 $\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}=\frac{1}{4}$이다.

[21.09.17]

17. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해 결정된다.
- (가)~(다)의 유전자 중 2개는 서로 다른 상염색체에, 나머지 1개는 X염색체에 있다.
- 표는 아버지의 정자 I과 II, 어머니의 난자 III과 IV, 딸의 체세포 V가 갖는 A, a, B, b, D, d의 DNA 상대량을 나타낸 것이다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	I	1	0	?	0	0	?
	II	0	1	0	0	?	1
어머니의 난자	III	?	1	0	?	㉠	0
	IV	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	V	1	?	?	㉡	?	0

- I과 II 중 하나는 염색체 비분리가 1회 일어나 형성된 ⓐ 염색체 수가 비정상적인 정자이고, 나머지 하나는 정상 정자이다. III과 IV 중 하나는 염색체 비분리가 1회 일어나 형성된 ⓑ 염색체 수가 비정상적인 난자이고, 나머지 하나는 정상 난자이다.
- V는 ⓐ와 ⓑ가 수정되어 태어난 딸의 체세포이며, 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, A, a, B, b, D, d 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (나)의 유전자는 X 염색체에 있다.

ㄴ. ㉠+㉡=2이다.

ㄷ. $\frac{\text{아버지의 체세포 1개당 B의 DNA 상대량}}{\text{어머니의 체세포 1개당 D의 DNA 상대량}}=\frac{1}{2}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[21.09.17]은 관련 변형 문제가 매우 많고, 문항의 소재 자체가 굉장히 좋기에 잘 기억하자.

(가)~(다) 중 2개는 서로 다른 상염색체, 나머지 1개는 X 염색체에 있다. 각각의 유전자가 어느 염색체 위에 존재하는지 알아내야겠다.

DNA 상대량 표는 아버지의 정자 2개와 어머니의 난자 2개를 주었는데, 각각 **하나는 비분리로 형성된 비정상 생식세포, 하나는 정상 생식세포**라고 한다. 그리고 비정상 생식세포끼리 만나서 **핵형이 정상인 딸**이 태어났다고 한다. **딸의 핵형이 정상이니 정자와 난자 중 하나는 + 세포, 하나는 - 세포**겠다.

문항에서 **비정상 세포와 정상 세포를 섞은 경우,** 가장 먼저 해야 할 일은 **"비정상 세포가 무엇인지 찾는 일"**이다. 왜냐하면, **비정상 세포를 제외해야 정상 세포들을 이용하여 정보를 뽑아낼 수 있고, 정보를 정리해야 비정상 세포가 어떻게 형성되었는지 "해석"**할 수 있기 때문이다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	?	0	0	?
	Ⅱ	0	1	0	0	?	1
어머니의 난자	Ⅲ	?	1	0	?	㉠	0
	Ⅳ	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	Ⅴ	1	?	?	㉡	?	0

예를 들어서 원래는 아버지 세포 Ⅱ의 B+b=0을 보고, B와 b는 X(성) 염색체에 존재하는 유전자라고 결론 내렸겠지만, 어쩌면 세포 Ⅱ는 비분리로 형성된 - 세포일지도 모르기 때문에 함부로 논리를 사용할 수 없다. 즉, **"정상과 비정상을 구분하지 못하면, 논리를 이용할 수 없다."** 그렇기에 **정상과 비정상을 구분하는 것이 돌연변이 문항에서 최우선 과제**이다.

따라서 먼저 세포 Ⅰ~Ⅳ가 정상 생식세포인지, 비분리로 형성된 생식세포인지 구분하는 것을 목표로 문항 풀이를 시작하자. 이를 위해, 문제에서 준 조건 **"비정상 생식세포끼리 만나서 딸이 태어났음"**을 이용하자.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	?	0	0	?
	Ⅱ	0	1	0	0	?	1
어머니의 난자	Ⅲ	?	1	0	?	㉠	0
	Ⅳ	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	Ⅴ	1	1	?	㉡	2	0

2n(2)

딸의 체세포는 핵형이 정상이라고 했으니, 세포 Ⅴ는 2n(2)이다. 따라서 딸은 대립 유전자 A와 a를 가지고 대립 유전자 D만을 2개 가진다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	?	0	0	?
	Ⅱ	0	1	0	0	?	1
어머니의 난자	Ⅲ	?	1	0	?	㉠	0
	Ⅳ	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	Ⅴ	1	1	?	㉡	2	0

그러니, 딸 형성 과정에 참여한 아버지의 비정상 정자에는 대립 유전자 d가 존재하면 안 된다. 그렇기에 세포 Ⅱ는 비정상 정자가 될 수 없다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	?	0	0	?
	Ⅱ	0	1	0	0	0	1
어머니의 난자	Ⅲ	?	1	0	?	㉠	0
	Ⅳ	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	Ⅴ	1	1	?	㉡	2	0

따라서 세포 Ⅰ이 딸 형성 과정에 참여한 비분리 정자이며, 세포 Ⅱ는 정상 생식세포 n(1)이다. **정상 세포 Ⅱ에서 대립 유전자 set의 합 B+b=0**이다. 따라서 **대립 유전자 B와 b는 X 염색체 위에 존재하는 유전자**이다. 나머지 A와 a, D와 d는 문제 조건에 따라서 서로 다른 상염색체 위에 존재하는 유전자겠다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	?	0	0	?
	Ⅱ	0	1	0	0	?	1
어머니의 난자	Ⅲ	?	1	0	?	㉠	0
	Ⅳ	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	Ⅴ	1	1	?	㉡	2	0

(처음부터 아버지에게 대립 유전자 A와 a가 모두 존재함을 가지고 아버지의 (가)에 대한 유전자형이 Aa이니, A와 a는 상염색체에 존재하는 유전자라고 결론 내려도 된다. 이후 문항 풀이는 위 과정을 따라가자.)

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	?	0	0	0
	Ⅱ	0	1	0	0	0	1
어머니의 난자	Ⅲ	?	1	0	?	㉠ 2	0
	Ⅳ	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	Ⅴ	1	?	?	㉡	2	0

그러면 아버지의 세포 Ⅰ에는 대립 유전자 d가 존재하지 않는다. 즉, 상염색체 대립 유전자 set D와 d가 모두 존재하지 않는다. 따라서 **세포 Ⅰ은 상염색체 비분리로 형성된 – 세포**임을 알 수 있다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	?	0	0	0
	Ⅱ	0	1	0	0	0	1
어머니의 난자	Ⅲ	?	1	0	?	㉠ 2	0
	Ⅳ	0	?	1	?	0	?
딸의 체세포	Ⅴ	1	?	?	㉡	2	0

딸은 대립 유전자 D를 2개 가지기에, 대립 유전자 D 2개를 모두 어머니의 난자로부터 받아야 한다. 이것이 가능한 세포는 Ⅲ이니, **세포 Ⅲ이 딸 형성 과정에 참여한 + 세포**임을 알 수 있다. 동시에 ㉠=2이다. (D가 2개 있어야 하니)

구분	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
아버지의 정자	Ⅰ	1	0	1	0	0	0
	Ⅱ	0	1	0	0	0	1
어머니의 난자	Ⅲ	0	1	0	1	㉠ 2	0
	Ⅳ	0	1	1	0	0	1
딸의 체세포	Ⅴ	1	1	1	㉡ 1	2	0

다른 염색체에 존재하는 A와 a, B와 b는 비분리의 영향을 받지 않았다. 따라서 아버지는 정상적으로 딸에게 X 염색체를 하나 줘야 하니, 아버지는 대립 유전자 B를 딸에게 준다. 또한

어머니는 대립 유전자 b를 딸에게 주니, 딸은 B와 b를 모두 가진다. 즉, ㉡=1이다.

ㄱ. (나)의 유전자는 X 염색체 위에 있다.
ㄴ. ㉠+㉡=3이다.
ㄷ. $\frac{\text{아버지의 체세포 1개당 } B\text{의 } DNA \text{ 상대량}}{\text{어머니의 체세포 1개당 } D\text{의 } DNA \text{ 상대량}} = \frac{1}{1}$이다. (어머니가 D와 d를 모두 가지기 때문)

Tip) 비정상 세포와 정상 세포를 섞었을 때 가장 먼저 해야 할 일은 **"비정상 세포를 찾는 일"**이다. 비정상 세포를 찾을 때는 **"비정상 세포와 관련된 문항 조건"**을 이용하거나, **"정상이라고 가정했을 때 모순이 난다는 점"**을 이용하여 찾아내자.

[22.09.19]

19. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 H와 h에 의해, (나)는 대립유전자 R와 r에 의해, (다)는 대립유전자 T와 t에 의해 결정된다. H는 h에 대해, R는 r에 대해, T는 t에 대해 각각 완전 우성이다.
○ (가)~(다)의 유전자는 모두 X 염색체에 있다.
○ 표는 어머니를 제외한 나머지 가족 구성원의 성별과 (가)~(다)의 발현 여부를 나타낸 것이다. 자녀 3과 4의 성별은 서로 다르다.

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
아버지	남	○	○	?
자녀 1	여	×	○	○
자녀 2	남	×	×	×
자녀 3	?	○	×	○
자녀 4	?	×	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

○ 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.
○ 염색체 수가 22인 생식세포 ㉠과 염색체 수가 24인 생식세포 ㉡이 수정되어 ⓐ가 태어났으며, ⓐ는 자녀 3과 4 중 하나이다. ㉠과 ㉡의 형성 과정에서 각각 성염색체 비분리가 1회 일어났다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

<보 기>

ㄱ. ⓐ는 자녀 4이다.
ㄴ. ㉡은 감수 1분열에서 염색체 비분리가 일어나 형성된 난자이다.
ㄷ. (나)와 (다)는 모두 우성 형질이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가) ~ (다)의 유전자가 모두 X 염색체 위에 존재하고 **비분리를 통해 태어난 핵형 정상 자손이 3과 4중 한 명**이다. 자녀 3과 4의 성별이 다르다는 조건과 핵형이 정상이라는 조건을 잘 이용하자.

본격적인 풀이에 시작하기에 앞서서, 한 가지 짚고 넘어가겠다. 물론 표를 보고 우열 관계를 약간 정리할 수 있다.

아버지-자녀 1에 의해, **유전형질 (가)는 열성 형질**이다. **(H>ⓗ) (열녀우남 Reverse)**

H>ⓗ R>r T>t

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
아버지	남	○	○	?
자녀 1	여	×	○	○
자녀 2	남	×	×	×
자녀 3	?	○	×	○
자녀 4	?	×	×	○

h__Y
H__/h__
H__Y

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

하지만, 이 우열 관계를 이용하여 유전자형을 정리하고 연관 해석을 진행하기에는 어려워 보인다. 따라서 **성염색체 비분리 문항에서 우열 관계에 집착하지 않는 것이 좋다.**

다시 처음으로 돌아와서, 원래 풀어내던 루틴으로 돌아가자. 표현형 정보만을 보고 비분리 자손을 파악하자.

H>ⓗ R>r T>t

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
아버지	남	○	○	?
자녀 1	여	×	○	○
자녀 2	남	×	×	×
자녀 3	?	○	×	○
자녀 4	?	×	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

표현형 정보만으로 핵형 정상 비분리 자손이 누구의 + 세포로 수정되었는지를 알 수 있는지 확인하자. 자녀 3과 4 중 한 명은 핵형 정상 비분리 자손이며 둘은 성별이 다르다.

H > h　　R > r　　T > t

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
아버지	남	○	○	?
자녀 1	여	×	○	○
자녀 2	남	×	×	×
자녀 3	?	○	×	○
자녀 4	?	×	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

만약 아버지의 감수 1분열 비분리 또는 감수 2분열 비분리로 + 세포가 만들어졌다면, 핵형 정상 비분리 자손은 아버지와 (가) ~ (다) 표현형이 완전히 다 같아야 한다. 그러나 아버지, 자녀 3, 자녀 4의 (가) ~ (다) 표현형은 서로 다르기에 모순이다.

따라서 **+ 세포는 어머니로부터 만들어졌으며, 비분리로 태어난 자손의 성별은 여자**이다. 그러면 정상 아들과 핵형 정상 비분리 딸이 자녀 3과 4에 섞여 있는 상황이겠다. 또한 자녀 2와 자녀 3, 자녀 4는 (가) ~ (다) 표현형이 서로 다르니, **자녀 2 ~ 4 중 정상 아들 두 명은 어머니로부터 서로 다른 X 염색체를 받았다.**

H > h　　R > r　　T > t

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
아버지	남	○	○	?
자녀 1	여	×	○	○
자녀 2	남	×	×	×
자녀 3	?	○	×	○
자녀 4	?	×	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

만약 어머니의 감수 2분열 비분리로 + 세포가 만들어졌다면, 핵형 정상 비분리 자손은 정상 아들 두 명 중 한 명과 (가) ~ (다) 표현형이 완전히 다 같아야 한다.

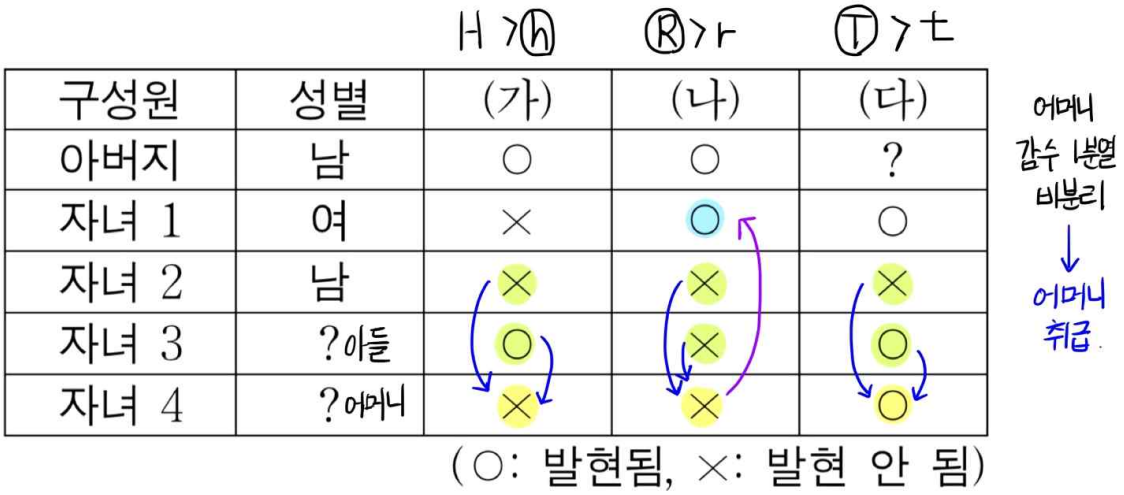
(이에 대해 부연 설명하자면, 정상 아들들은 서로 다른 X 염색체를 받았을 것이니 한 명은 $X_A Y$, 나머지 한 명은 $X_B Y$라고 하자. 그러면 어머니의 성염색체 구성은 $X_A X_B$가 된다. 어머니 감수 2분열 비분리로 딸이 태어난다면, $X_A X_A$ 또는 $X_B X_B$ 성염색체 구성을 가질 것이니 두 아들 중 한 명과는 (가) ~ (다) 표현형이 모두 같아야 한다.)

그런데 그렇지 않으니 모순이다.

따라서 핵형 정상 비분리 딸은 어머니의 감수 1분열 비분리로 만들어진 + 세포가 수정에 참여하여 태어난 자손이다.

어머니의 감수 1분열 비분리로 핵형 정상 딸이 태어났으니, 딸은 어머니와 성염색체 구성이 완전히 동일하다. 따라서 **핵형 정상 비분리 딸을 "어머니라고 취급"**하고 자녀 3과 4 중 누가 어머니가 될 수 있는지 찾아주자.

만약 자녀 3이 어머니(비분리 딸)라면, 표현형이 다른 두 아들인 자녀 2와 자녀 4의 X 염색체를 합친 결과 (가)를 발현하지 않아야 한다. 그러나 자녀 3은 (가)를 발현하니 모순이다.



따라서 **자녀 4가 어머니(비분리 딸)** ⓐ이다.

유전형질 (가)는 O와 X를 합쳐 어머니의 (가) 표현형 X가 나왔으니, **정상 X가 병 O에 대해 우성이다. (H>ⓗ)**

유전형질 (나)는 X와 X를 합쳐 어머니는 (나)에 대해 XX로 동형 접합을 가진다. 그런데 자녀 1이 (나)를 발현하니, **정상 X가 병 O에 대해 열성이다. (Ⓡ>r)**

유전형질 (다)는 O와 X를 합쳐 어머니의 (다) 표현형 O가 나왔으니, **병 O가 정상 X에 대해 우성이다. (Ⓣ>t)**

ㄱ. ⓐ는 자녀 4이다. ㄴ. Ⓛ은 감수 1분열에서 비분리가 일어나 형성된 난자이다. ㄷ. (나)와 (다)는 모두 우성 형질이다.

핵형이 정상이라는 조건을 이용하여 표현형 정보만으로 비분리 자손이 어떻게 태어났는지 추론하는 과정과 **자녀 4를 어머니로 취급**하고 문제를 풀어내는 요령도 함께 배워가길 바란다.

또한 우열 관계를 중심으로만 유전자형을 정리하는 것에 몰두하지 말자.

[25.11.17]

17. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

○ (가)~(다)의 유전자 중 2 개는 X 염색체에 있고, 나머지 1 개는 상염색체에 있다.
○ (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해 결정된다.
○ 표는 이 가족 구성원 ㉠~㉤의 성별과 체세포 1 개당 a, B, D의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. ㉠~㉤은 아버지, 어머니, 자녀 1, 자녀 2, 자녀 3, 자녀 4를 순서 없이 나타낸 것이다.
○ 어머니의 난자 형성 과정에서 성염색체 비분리가 1 회 일어나 염색체 수가 비정상적인 난자 P가 형성되었다. P가 정상 정자와 수정되어 자녀 4가 태어났으며, 자녀 4는 클라인펠터 증후군의 염색체 이상을 보인다.
○ 자녀 4를 제외한 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

구성원	성별	DNA 상대량		
		a	B	D
㉠	여	1	0	1
㉡	여	1	1	1
㉢	남	1	2	0
㉣	남	0	1	1
㉤	남	1	1	1
㉥	남	0	0	1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, A, a, B, b, D, d 각각의 1 개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. ㉤은 아버지이다.
ㄴ. 염색체 비분리는 감수 1 분열에서 일어났다.
ㄷ. ㉠에게서 a, b, D를 모두 갖는 생식세포가 형성될 수 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

클라인펠터 자손은 반드시 어머니의 X 염색체를 적어도 1개는 가진다는 특징과 **+ 세포는 어머니로부터 형성**되었다는 특징을 이용하여 [25.11.17]을 풀어보자.

지금 DNA 상대량을 주고 어머니, 아버지, 자손 3명, 클라인펠터를 숨겨놓은 문항이다. 가계도 단원에서도 언급했듯이, 구성원을 숨겨놓고 DNA 상대량을 준 문제에서는 대부분 **부모-자식 DNA 상대량 2-0 불가 논리**를 사용하여 부모가 누군지 확정한다. 이 논리를 이용하여 우선 부모가 누군지부터 확정하자.

구성원	성별	DNA 상대량		
		a	B	D
㉠	여	1	0	1
㉡	여	1	1	1
㉢	남	1	2	0
㉣	남	0	1	1
㉤	남	1	1	1
㉥	남	0	0	1

구성원 ㉠과 ㉢은 부모 자식이 가능할까? B가 상염색체 유전이어도 불가능하고, 성염색체 유전이어도 불가능하다. (클라인펠터를 고려하더라고, 클라인펠터는 어머니로부터 반드시 X 염색체를 1개 받는다.) 따라서 **㉠, ㉢은 둘 다 자손이거나 둘 다 부모**이다.

만약 ㉠과 ㉢이 둘 다 부모라면, ㉢의 B는 정상 남자(아버지)가 가지고 있는 유전자 BB임을 의미하기에 **(나)는 상염색체 유전형질**이다. **상염색체는 비분리의 영향을 받지 않는다.** 따라서 부모의 B에 대해 자손은 B를 반드시 1개씩 가져야 하지만, ㉥은 가지지 않아서 모순이다.

따라서 **구성원 ㉠과 ㉢은 둘 다 자손**이다. 자연스럽게 **유일한 여자인 ㉡이 어머니**이다.

구성원	성별	DNA 상대량		
		a	B	D
㉠ 자녀	여	1	0	1
㉡ 어머니	여	1	1	1
㉢ 자녀	남	1	2	0
㉣	남	0	1	1
㉤	남	1	1	1
㉥	남	0	0	1

그러면 이제 아버지, 정상 아들 2명, 클라인펠터를 추론해야 하는데, (가)~(다) 중 어떤 유전형질이 상염색체 유전형질인지, X 염색체 유전형질인지 모르기에 유전자형과 연관 상태를 정리할 수 없다. 따라서 **X 연관 귀류**를 통해 X 염색체 위에 존재하는 유전형질 2개를 찾아보자.

(1) (가)와 (나)가 X 연관일 때

구성원	성별	DNA 상대량		
		a	B	D
㉠	여	1	0	1
㉡	여	1	1	1
㉢	남	1	2	0
㉣	남	0	1	1
㉤	남	1	1	1
㉥	남	0	0	1

(가)와 (나)가 X 연관이라면, 자연스럽게 **X 염색체 유전자를 2개 이상 가지는 남자 자녀 ㉢이 클라인펠터**가 된다. 여기서 두 가지 모순이 발생한다.

ⅰ) 정상 남자 구성원 ㉡~㉥을 보면 **X 유전자 구성이 모두 다르기에 정상 아들 2명은 서로 다른 X 염색체를 어머니께 받았다.** 그러면 정상 아들 둘이 가진 X 염색체를 합치면 어머니의 성염색체 구성이 나올 수 있어야 하기에 ㉤과 ㉥이 아들이 된다.

즉 **어머니는 X 염색체에 대해 11/00** (편의상 a, B에 대한 DNA 상대량을 이용하여 숫자로 염색체를 표시) **연관 상태임을** 의미한다. **(두 아들이 각각 11 Y, 00 Y이기 때문)**

하지만 11/00만을 가지는 **어머니에게서 비분리 + 세포가 만들어졌을 때, 클라인펠터 자녀 4가 가지는 aB에 대한 12 상대량 조합을 만들어낼 수 없다.** 따라서 **(가)와 (나)는 X 연관이 아니다.**

ⅱ) **어머니의 유전자형과 클라인펠터를 보고 모순을 찾을 수도 있다.** 자녀 4의 대립 유전자 a와 B에 대한 DNA 상대량이 각각 1과 2이다. 즉, **DNA 상대량 홀수가 존재**한다.

감수 2분열 비분리로는 DNA 상대량 짝수만을 만들 수 있는데, DNA 상대량 1이 보인다. 따라서 **+ 세포는 어머니의 감수 1분열 비분리로 형성되었을 것**이다.

하지만 어머니의 감수 1분열에서 성염색체 비분리가 일어났다면, **클라인펠터와 어머니의 성염색체 대립 유전자 a와 B에 대한 염색체 구성이 완전히 같아야 하는데, 어머니는 11, 클라인펠터는 12이니 그렇지 않다.** 따라서 **(가)와 (나)는 X 연관이 아니다.**

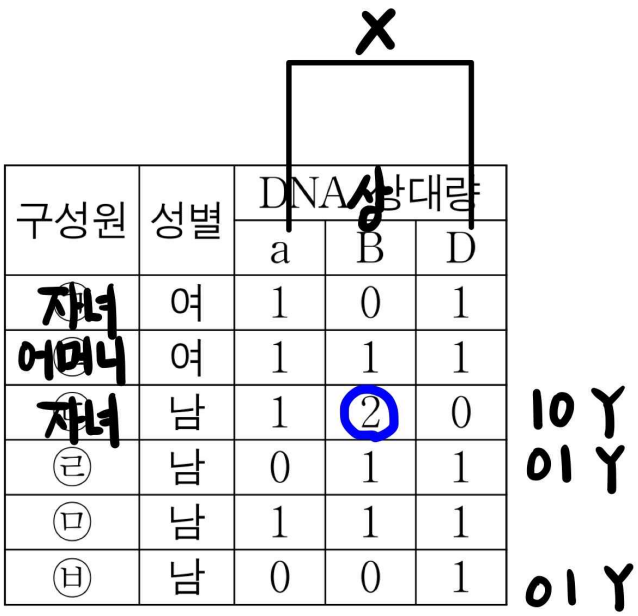
(2) (나)와 (다)가 X 연관일 때

구성원	성별	DNA 상대량		
		a	B	D
㉠ 자녀	여	1	0	1
㉡ 어머니	여	1	1	1
㉢ 자녀	남	1	2	0
㉣	남	0	1	1
㉤	남	1	1	1
㉥	남	0	0	1

마찬가지로 **성염색체 유전자인 B를 2개 가지는 아들 ㉢이 클라인펠터**이다. 클라인펠터를 보니 10 **(B와 D에 대한 상대량을 순서대로 염색체를 표기) 염색체만을 가진다.** 따라서 **어머니의 X 염색체 연관 상태는** 10/01이다. (클라인펠터는 어머니로부터 반드시 X 염색체를 하나 받기 때문이다.)

하지만, ㉣~㉥의 B와 D에 대한 DNA 상대량을 보니, 11 염색체를 가지는 아들이 반드시 존재해야 하기에 모순이다. 따라서 **(나)와 (다)는 X 연관이 아니다.**

→ 결론적으로 **(가)와 (다)가 X 연관**이다.



구성원	성별	DNA 상대량		
		a	B	D
㉠ 자녀	여	1	0	1
㉡ 어머니	여	1	1	1
㉢ 자녀	남	1	2	0
㉣	남	0	1	1
㉤	남	1	1	1
㉥	남	0	0	1

자녀 ㉢을 이제는 클라인펠터라고 단정할 수 없다. 즉 클라인펠터는 다시 찾아줘야 한다.

어머니는 X 염색체 대립 유전자 a와 D에 대해서 1개씩 가지니, **유전적 구성이 다른 두 아들을 합쳐서 11 조합**이 나올 수 있어야 한다.

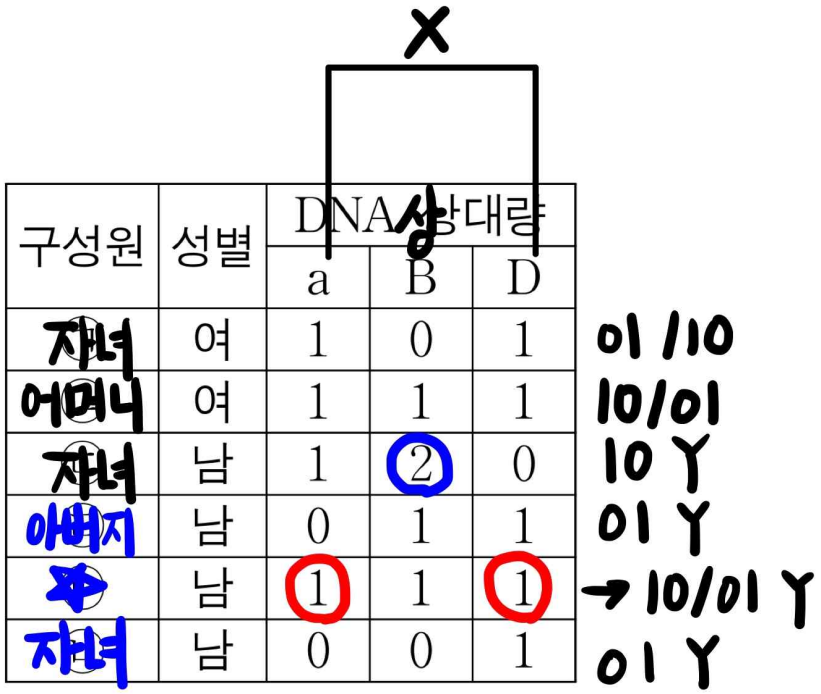
자녀인 ㉢은 클라인펠터 여부와 무관하게 반드시 10 조합을 가지고, 이는 **어머니에게 존재한다. (다른 남자 중에서 10 조합을 가지는 사람이 없다. 즉, 아버지는 10 조합이 없다)** 따라서 **어머니의 (가)와 (다)에 대한 연관 상태는 10/01**이다.

여자 자손 ㉠을 고려하면 **아버지 역시 10 Y 또는 01 Y**가 된다. (왜냐하면, 정상 여자 자녀 ㉠의 a와 D에 대한 DNA 상대량은 모두 1인데, 어머니의 연관 상태가 10/01이다. 아버지의 염색체를 합쳐서 11 조합을 만들어내기 위해서는 아버지 역시 10 Y 또는 01 Y이다.)

자녀 ㉡에게 2개 존재하는 **상염색체 대립 유전자 B는 아버지에게 반드시 존재**해야 한다.

위의 두 문단을 고려하면, **아버지는 ㉣**임을 알 수 있고 **(왜냐하면 성염색체에 대해서는 10 Y 또는 01 Y 조합을 가져야 하고, 상염색체 대립 유전자 B를 최소 1개 가져야 하니)**, **정상 아들이 11 조합을 가질 수는 없기**에 **㉤이 클라인펠터, ㉥이 정상 자녀**이다.

클라인펠터 자손이 **11 조합**을 가지고 있으니, **어머니의 10/01이 감수 1분열 비분리**가 일어나서 모두 클라인펠터에게 전달되었음을 알 수 있다.

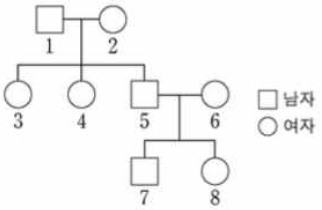


ㄱ. ㉤은 클라인펠터이다.
ㄴ. 염색체 비분리는 감수 1분열에서 일어났다.
ㄷ. ㉠은 10/01 조합을 aD에 대해서 가지니 이를 알파벳으로 치환해보면 ad/AD를 가진다. 따라서 aD를 생식세포에서 모두 가질 수는 없다.

[21.11.17]

17. 다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (가)는 상염색체에 있는 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 D, E, F, G가 있다.
- D는 E, F, G에 대해, E는 F, G에 대해, F는 G에 대해 각각 완전 우성이다.
- 그림은 구성원 1~8의 가계도를, 표는 1, 3, 4, 5의 체세포 1개당 G의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. 가계도에 (가)의 표현형은 나타내지 않았다.



구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

- 1~8의 유전자형은 각각 서로 다르다.
- 3, 4, 5, 6의 표현형은 모두 다르고, 2와 8의 표현형은 같다.
- 5와 6 중 한 명의 생식세포 형성 과정에서 ⓐ 대립유전자 ㉠이 대립유전자 ㉡으로 바뀌는 돌연변이가 1회 일어나 ㉡을 갖는 생식세포가 형성되었다. 이 생식세포가 정상 생식세포와 수정되어 8이 태어났다. ㉠과 ㉡은 각각 D, E, F, G 중 하나이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, D, E, F, G 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

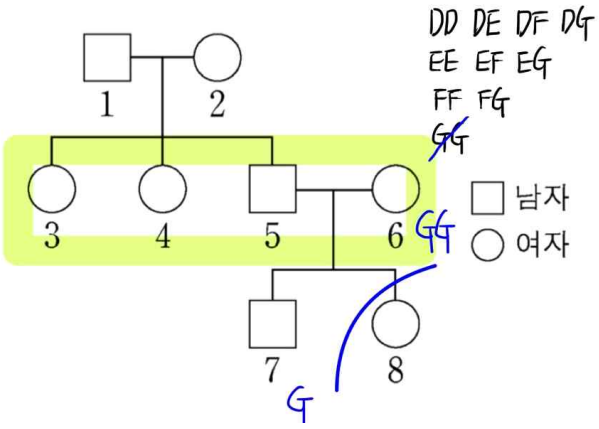
<보 기>

ㄱ. 5와 7의 표현형은 같다.
ㄴ. ⓐ는 5에서 형성되었다.
ㄷ. 2~8 중 1과 표현형이 같은 사람은 2명이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

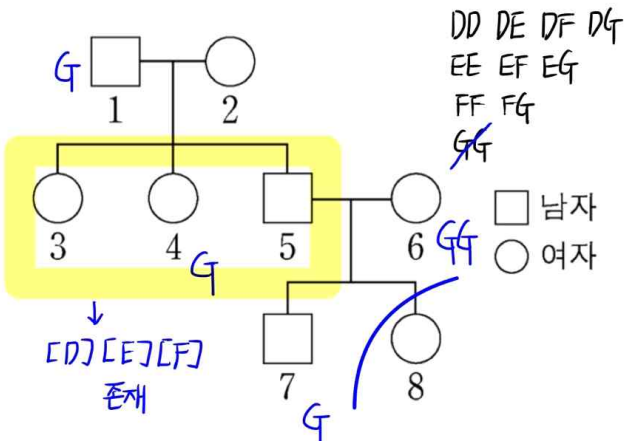
유전형질 (가)는 상염색체에 존재하는 복대립 유전형질이다. 복대립 유전자가 나왔으며 구성원 3~6의 (가) 표현형이 다르다고 한다. 지금까지 복대립 문항을 풀어왔듯이, **최열성 → 최우성 → 나머지 표현형을 찾는 태도**를 고수하자. 여기서는 D > E > F > G이니, GG인 구성원을 먼저 찾는 것이 중요하겠다. 또한 **유전자 돌연변이를 통해 태어난 구성원 8을 제외하고 나머지 구성원의 유전자형을 해석**하자.

모든 구성원의 유전자형이 다르다고 했으니, 가능한 유전자형 후보를 옆에 적어두고 하나씩 소거하면서 구성원의 유전자형이 겹치지 않도록 꼼꼼히 확인하자.



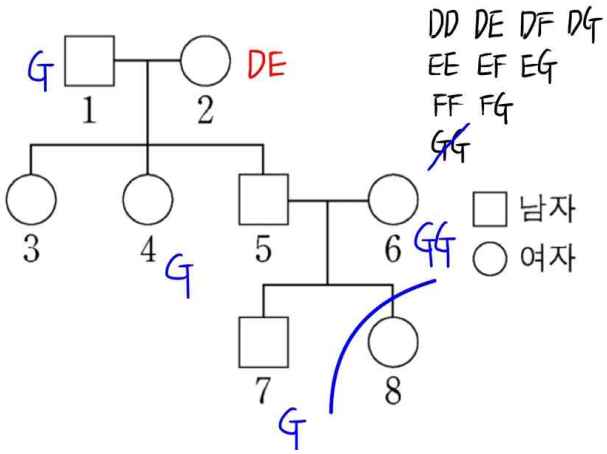
구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

우선 그림과 같이 구성원 8은 제외하고 시작하자. 구성원 3~6의 (가) 표현형이 다르다고 했으니, 분명 네 명 중에서 [G] 표현형이 존재할 것이다. 그런데 구성원 3, 4, 5의 G에 대한 DNA 상대량은 2가 아니기에 모두 GG가 될 수 없다. 따라서 **구성원 6이 GG로 [G] 표현형**이며, 구성원 7은 구성원 6으로부터 대립유전자 G를 하나 받는다.



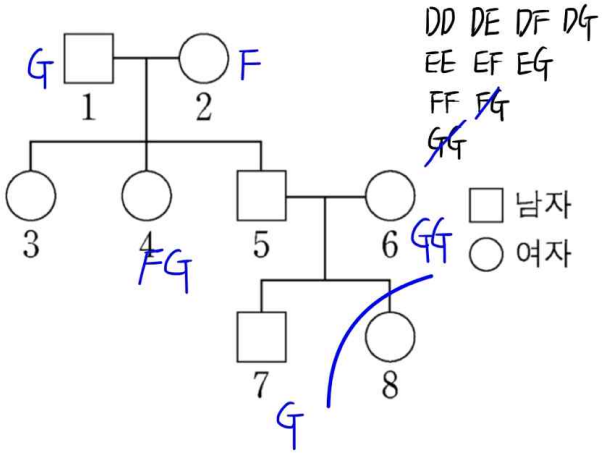
구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

그러면 나머지 구성원 3, 4, 5는 각각 [D], [E], [F] 표현형 중 하나가 되어야 한다. 따라서 **부모 1과 2에게 대립유전자 D, E, F가 모두 존재**해야 한다. 구성원 1이 이미 대립유전자 G를 하나 가지고 있으니, 부모의 나머지 세 자리에 D, E, F가 채워지겠다.



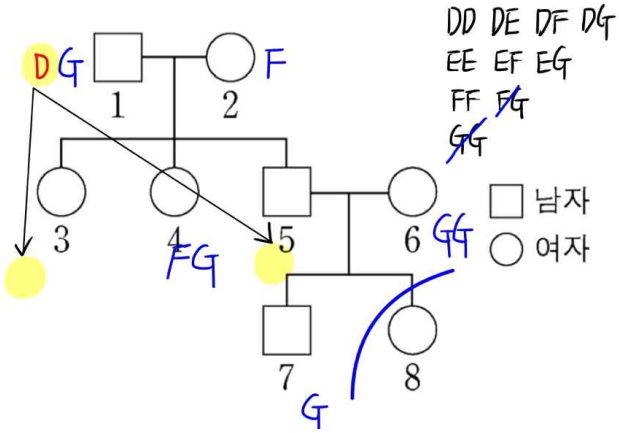
구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

구성원 3~5의 (가) 표현형이 모두 다르니, 1등 대립유전자 D와 2등 대립유전자 E는 몰릴 수 없다. **(1/2등 몰림 논리)**



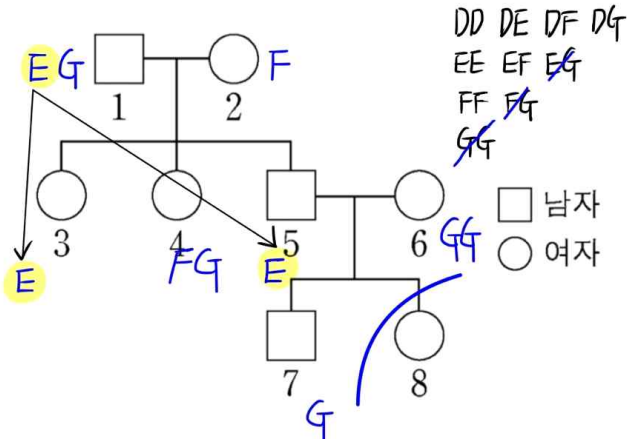
구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

따라서 **구성원 2는 대립유전자 F를 가진다.** 또한 구성원 1과 2 사이에서 태어나는 [F]는 반드시 유전자형이 FG여야 하기에, 유일하게 G를 가지는 **구성원 4의 유전자형은 FG**이다.



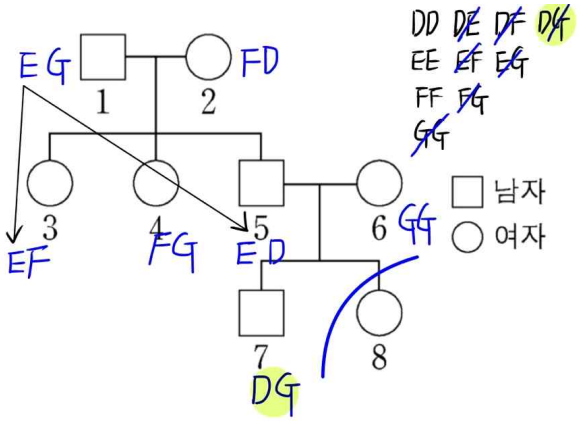
구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

구성원 1은 구성원 3과 5에게 대립유전자 G를 주지 않기에, G가 아닌 복대립 유전자를 공통으로 준다. 그런데 자녀 3과 5의 (가) 표현형이 달라야 하니, **구성원 1은 D를 가질 수 없다.**



구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

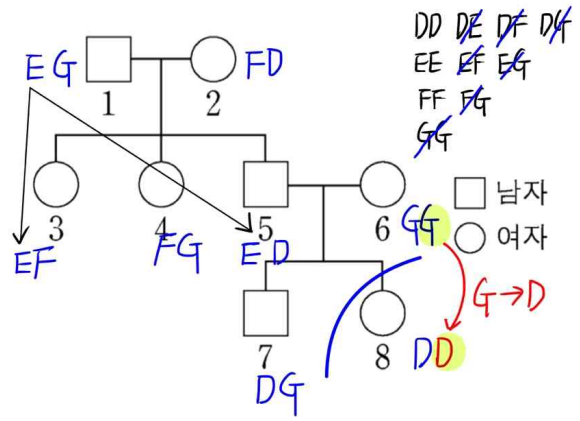
따라서 **구성원 1의 유전자형은 EG**이다. 자동으로 **구성원 2의 유전자형은 DF**겠다.



구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

구성원 7은 대립유전자 G를 가지는데, DG를 제외하고는 모든 유전자형이 다 사용되었다. 따라서 **구성원 7의 유전자형은 DG**이다.

구성원 7에게 존재하는 대립유전자 D는 구성원 5로부터 오니, **구성원 5의 유전자형은 DE**이며 구성원 5의 표현형은 [D]이다. 자동으로 구성원 3은 표현형 [E]를 나타내야 하니, **구성원 3의 유전자형은 EF**이다.



구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

마지막으로 유전자 돌연변이를 해석하자. 구성원 2와 8의 (가) 표현형이 같으니, 구성원 8 역시 [D] 표현형이다. 남은 유전자형 중에서 [D]인 것은 DD밖에 없으니, 구성원 8의 유전자형은 DD이다. 구성원 8은 6으로부터 G가 아닌 D를 받았기에, **구성원 6으로부터 대립유전자 G→D로 변하는 유전자 돌연변이**가 일어났다. 따라서 **㉠은 G, ㉡은 D**이다.

ㄱ. 5의 표현형은 [D], 7의 표현형도 [D]이니 같다.
ㄴ. ⓐ는 6에서 형성되었다.
ㄷ. 2~8 중에서 1의 표현형인 [E]와 같은 표현형을 지니는 사람은 구성원 3으로 1명이다.

[23.09.18]

18. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 A와 A*에 의해, (나)는 대립유전자 B와 B*에 의해, (다)는 대립유전자 D와 D*에 의해 결정된다.
○ (가)와 (나)의 유전자는 7번 염색체에, (다)의 유전자는 9번 염색체에 있다.
○ 표는 이 가족 구성원의 세포 Ⅰ~Ⅴ 각각에 들어 있는 A, A*, B, B*, D, D*의 DNA 상대량을 나타낸 것이다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	A*	B	B*	D	D*
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?
어머니	Ⅱ	0	?	?	0	0	2
자녀 1	Ⅲ	2	?	?	1	?	0
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3

○ 아버지의 생식세포 형성 과정에서 7번 염색체에 있는 대립유전자 ㉠이 9번 염색체로 이동하는 돌연변이가 1회 일어나 9번 염색체에 ㉠이 있는 정자 P가 형성되었다. ㉠은 A, A*, B, B* 중 하나이다.
○ 어머니의 생식세포 형성 과정에서 염색체 비분리가 1회 일어나 염색체 수가 비정상적인 난자 Q가 형성되었다.
○ P와 Q가 수정되어 자녀 3이 태어났다. 자녀 3을 제외한 나머지 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, A, A*, B, B*, D, D* 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. ㉠은 B*이다.
ㄴ. 어머니에게서 A, B, D를 모두 갖는 난자가 형성될 수 있다.
ㄷ. 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

(가)와 (나)를 결정하는 대립유전자는 7번 염색체에, (다)는 9번 염색체에 존재하며 구성원이 가지는 세포의 DNA 상대량을 주었다. 아버지의 생식세포 형성 과정에서 **7번 염색체에 있는 대립유전자가 9번 염색체로 일어나는 전좌**가 일어났으며, 1개의 유전자만 전좌를 통해 이동했다고 알려주었다. 어머니의 생식세포 형성 과정에서는 비분리가 일어났으며, 비정상 정자와

비정상 난자가 만나서 자녀 3이 태어났다. 전좌는 최대한 마지막에 해석하자.

이제는 익숙하겠지만, **돌연변이를 해석하기 전에는 정상 구성원의 유전자형과 연관 상태를 파악하는 것이 원칙**이다. 세포에 대한 정보가 있으니, 각 세포의 핵상부터 파악하자.

구분	세포	DNA 상대량						
		A	A^*	B	B^*	D	D^*	
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?	D
어머니	Ⅱ	0	?	?	0	0	2	D
자녀 1	Ⅲ	2	0	1	1	2	0	AB/AB* DD
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2	
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3	

2n(2)

자녀 1의 세포 Ⅲ에 DNA 상대량 1과 2가 모두 보이기에, **세포 Ⅲ은 2n(2)**이며 자녀 1의 유전자형은 AB/AB^* DD이다. 따라서 **부모 모두 대립유전자 D를 가지며, 부모 중 한 명은 AB 염색체를, 나머지 한 명은 AB^* 염색체**를 가져야겠다.

구분	세포	DNA 상대량						
		A	A^*	B	B^*	D	D^*	
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?	D
어머니	Ⅱ	0	2	2	0	0	2	A*B/A D
자녀 1	Ⅲ	2	0	1	1	2	0	AB/AB* DD
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2	
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3	

n(2) 2n(2)

부모는 모두 대립유전자 D를 가진다. 하지만 **어머니의 세포 Ⅱ에는 대립유전자 D가 존재하지 않으니 세포 Ⅱ의 핵상은 n(2)**이다. 세포 Ⅱ에 A^*와 B가 존재하니, 어머니는 A^*B 염색체를 가진다. 어머니는 자녀 1이 가지는 AB나 AB^*중 하나를 가지니, 어머니의 다른 염색체에는 대립유전자 A가 존재함을 알 수 있다.

구분	세포	DNA 상대량						
		A	A^*	B	B^*	D	D^*	
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?	D
어머니	Ⅱ	0	2	2	0	0	2	A*B/A D
자녀 1	Ⅲ	2	0	1	1	2	0	AB/AB* DD
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2	→ A*B* 존재.
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3	

n(2) 2n(2)

자녀 2의 세포 Ⅳ를 살펴보자. 자녀 2의 세포 Ⅳ의 핵상은 알 수 없지만, **세포 Ⅳ에는 A^*B^* 염색체가 존재**함을 알 수 있다. (세포 Ⅳ의 핵상이 2n이든, n이든 반드시 A^*B^* 염색

체를 가진다.)

구분	세포	DNA 상대량					
		A	A^*	B	B^*	D	D^*
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?
어머니	Ⅱ	0	2	2	0	0	2
자녀 1	Ⅲ	2	0	1	1	2	0
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3

A^*B^*/AB D
A^*B/AB^* D
AB/AB^* DD
→ A^*B^* 존재.

따라서 **부모 중 한 명은 A^*B^* 염색체**가 있어야 한다. 그러나 어머니의 염색체 구성을 보니 **어머니는 A^*B^* 염색체를 가질 수 없다.**

따라서 **염색체 A^*B^*는 아버지**에게 존재한다. 아버지는 자녀 1에게 존재하는 대립유전자 A와 세포 Ⅰ에 존재하는 대립유전자 B 역시 가져야 한다. 따라서 아버지의 (가)와 (나)에 대한 유전자형과 연관 상태는 AB/A^*B^* 이며, 어머니의 (가)와 (나)에 대한 유전자형과 연관 상태는 A^*B/AB^* 이다.

(물론 아버지의 세포 Ⅰ은 $B+B^*=1$이니 핵상이 n(1)임을 알 수 있지만, 알 필요 없는 정보이니 생략)

구분	세포	DNA 상대량					
		A	A^*	B	B^*	D	D^*
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?
어머니	Ⅱ	0	2	2	0	0	2
자녀 1	Ⅲ	2	0	1	1	2	0
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3

A^*B^*/AB D D^*
A^*B/AB^* D D^*
AB/AB^* DD
→ A^*B^* 존재
비분리
$D^*D^*D^*$
비분리 의미

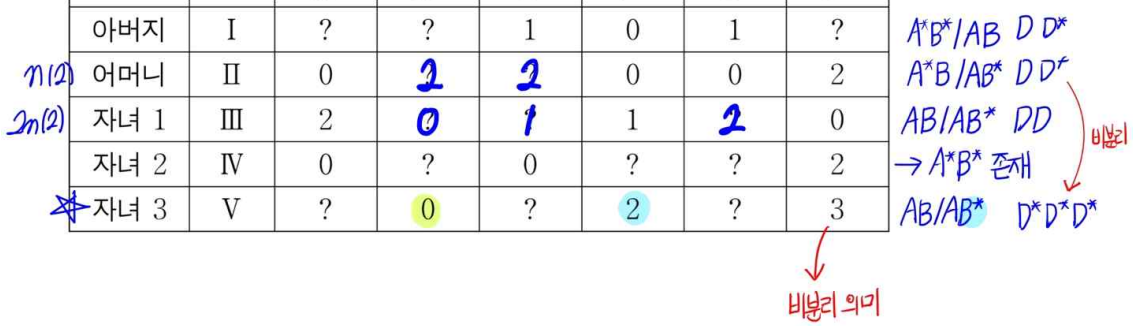
정상 구성원의 해석을 통해 부모의 유전자형과 연관 상태를 모두 알아냈으니, 돌연변이 자손 3을 해석하자.

자손 3은 대립유전자 D^*를 3개 갖는다. **전좌를 통해 DNA 상대량이 증가하는 유전자는 7번 염색체 위에 있는 유전자**이니, **9번 염색체 대립유전자 D^*는 어머니의 + 비분리**를 통해 더 받은 것이다. **(9번 염색체는 운반체 역할 → 전좌의 영향 X)**

따라서 자녀 3은 어머니로부터 D^* 2개를 받고 아버지로부터 D^* 1개 받아 태어난 자손이며, 아버지와 어머니는 대립유전자 D^*를 가져야 하기에, **아버지와 어머니의 (다)에 대한 유전자형은 DD^***임을 알 수 있다. (물론 어머니는 세포 Ⅱ를 보고 미리 DD^*로 정리했어도 되며, 어

머니의 감수 2분열 비분리로 + 세포가 만들어졌음을 알 수 있다)

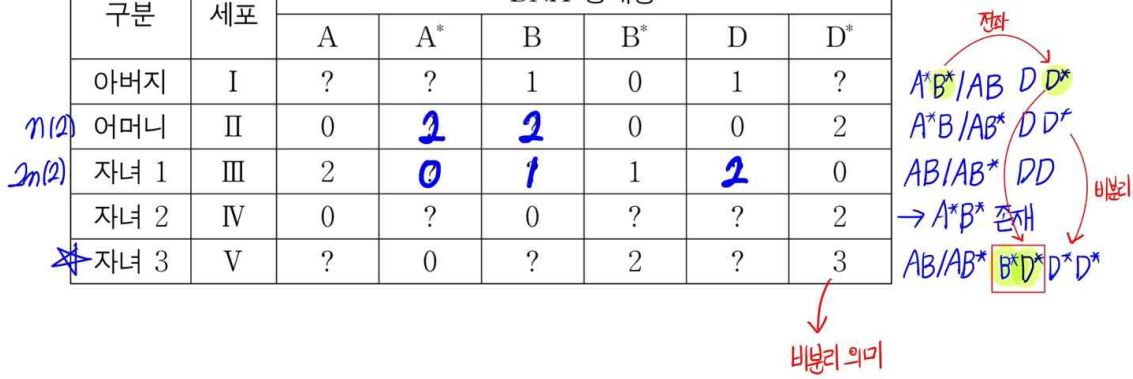
구분	세포	DNA 상대량					
		A	A^*	B	B^*	D	D^*
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?
어머니	Ⅱ	0	1	1	0	0	2
자녀 1	Ⅲ	2	0	1	1	1	0
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3



이제 전좌를 통해 7번 염색체 중에서 어떤 대립유전자의 상대량이 증가했는지 판단하자. (발문 조건을 잘 읽어보면, **본체가 아니라 파편이 존재하는 세포가 수정에 참여**했다고 했으니, 정상적으로 수정한 상태에서 어떤 대립유전자의 DNA 상대량이 늘어났는지 보면 된다) 자녀 3은 대립유전자 A^*를 안 받았기에 부모로부터 **모두 A가 존재하는 염색체만** 받았다.

따라서 아버지는 자녀 3에게 AB 염색체를, 어머니는 자녀 3에게 AB^* 염색체를 주었다. 따라서 **자녀 3의 7번 염색체 구성은** AB/AB^*이다.

구분	세포	DNA 상대량					
		A	A^*	B	B^*	D	D^*
아버지	Ⅰ	?	?	1	0	1	?
어머니	Ⅱ	0	1	1	0	0	2
자녀 1	Ⅲ	2	0	1	1	1	0
자녀 2	Ⅳ	0	?	0	?	?	2
자녀 3	Ⅴ	?	0	?	2	?	3



그런데 **대립유전자 B^*의 DNA 상대량이 2**이다. 따라서 전좌를 통해 아버지의 7번 염색체에 존재하던 B^*가 추가로 자녀 3에게 전달되었음을 알 수 있다. 전좌는 9번 염색체를 통해 전달되어야 하니, 아버지가 자녀 3에게 전달한 9번 염색체 대립유전자 D^*가 파편 B^*와 함께 전달되었음을 알 수 있다.

ㄱ. ㉠은 B^*이다.
ㄴ. 어머니에게서 A, B, D를 모두 갖는 난자는 생성될 수 없다.
ㄷ. 염색체 비분리는 어머니의 감수 2분열 과정 중 9번 염색체에서 일어났다.

Tip) 전좌를 통해서 7번 염색체 대립유전자 DNA 상대량에 영향을 끼쳤기에, 9번 염색체는 전좌의 영향을 받지 않았다. 그렇기에 자녀 3의 9번 염색체 위에 존재하는 D^*의 상대량이 3인 것을 보자마자 9번 염색체 비분리의 결과라고 해석할 수도 있다.