

9.

다음은 사람의 유전 형질 (가)~(라)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해, (라)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해, D는 d에 대해, E는 e에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)~(라)의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있고, (가)~(다)의 유전자는 (라)의 유전자와 다른 염색체에 있다.
- (가)~(라)의 표현형이 모두 우성인 부모 사이에서 ①가 태어날 때, ①의 (가)~(라)의 표현형이 모두 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{16}$ 이다.

①가 (가)~(라) 중 적어도 2 가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

[Comment 1] A, B, D의 위상이 동일한 문제를 풀 때 대문자로 표시되는 대립유전자는 1로 소문자로 표시되는 대립유전자는 0으로 자료 정리하면 유용하다.

A, B, D의 위상이 동일하므로 (=가)~(다) 간 형질의 구분을 요하지 않으므로) 결국 대문자로 표시되는 대립유전자에 관한 유전(다인자 유전)과 형질 교배의 이해에 대한 문항으로 변모하는 문항이다.

[Comment 2] 2023학년도 수능 대비 디올 교재에서는 이와 같은 형질 교배 문항에 대해 두 가지 방식을 제안한 바 있다.

실전에서 논리와 직관 풀이 중 떠오르는 풀이를 구사할 수 있도록 두 가지 방식 모두 이해하고 넘어가도록 하자.

- 1) 염색체 지도 추론 (논리)
- 2) 연역적 지식 활용 (직관, Schema)

[Comment 3] [풀이 1 - 논리 : 경우의 수, 확률 관점을 통한 염색체 지도 완성]

$\frac{3}{16} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$ 이고 독립 염색체에서 자손에게 우성 표현형이 등장할 확률은

최소 $\frac{1}{2}$ 보다 크다. 따라서 $\frac{3}{4}$ 은 완전 우성 유전 $Ee \times Ee$ 에서 등장하는 확률로 고정된다.

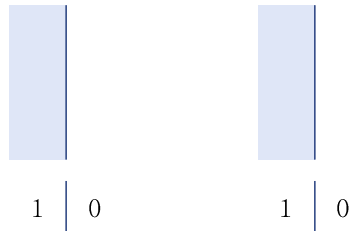
염색체 지도는 다음과 같다.



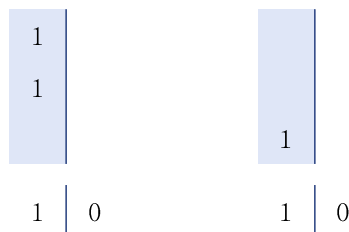
[Comment 4] 부모 모두 A, B, D를 갖고 ③의 표현형이 [A_],[B_],[D_]로 부모와 같을

확률이 $\frac{1}{4}$ 이므로 부모 모두 한 염색체 내에 3을 가질 수 없다.

한 염색체의 교배에서 가능한 경우는 항상 좌좌, 좌우, 우좌, 우우의 총 4가지이다. 가능한 조합을 좌좌로 설정하자.



[Comment 5] 부모의 구분이 없으므로 한 쪽에 2, 다른 한 쪽에 1을 두어도 일반성을 잃지 않는다.



[Comment 6] 이때 부모 모두 한 염색체 내에 3을 가질 수 없고 반드시 좌우 중 하나에는 1(우성 대립유전자)을 가져야 하므로 다음이 결정된다.

1			
1			
0	1	1	0
1	0	1	0

우우 조합은 불가능해야 하고 부모 모두 한 염색체 내에 0을 가질 수 없으므로 다음이 결정된다.

1			1
1	0		0
0	1	1	0
1	0	1	0

반드시 좌우 중 하나에는 1(우성 대립유전자)을 가져야 하고 부모 모두 한 염색체 내에 3을 가질 수 없으므로 다음이 결정된다.

1		0	1
1	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0

우좌 조합은 불가능해야 하므로 남은 칸이 결정된다.

1	0	0	1
1	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0

[Comment 7] Ⓐ가 (가)~(라) 중 적어도 2가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은 1-(1가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률)이므로

$$1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{4} \text{이다.}$$

[Comment 8] [풀이 2 - 직관 : 연역적 사실을 바탕으로 한 풀이]

- 1) 자손의 3가지 형질이 모두 열성이려면 반드시 인인 × 인인이어야 한다.
- 2) 대문자 수에 따라 다음과 같이 염색체 종류를 정의하자.

기호	Ⓐ	×	Ⓑ
염색체 종류	1	0	2
	1	0	0
	1	0	1
특징	완전 상인		적어도 1 상반

자손의 3가지 형질이 모두 우성인 경우를 다음과 같이 일반화할 수 있다.

형질 교배	Ⓐ × Ⓐ	Ⓐ × Ⓑ	서로 같은 Ⓑ × Ⓑ	서로 다른 Ⓑ × Ⓑ
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

$\frac{3}{16} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$ 이고 독립 염색체에서 자손에게 우성 표현형이 등장할 확률은 최소 $\frac{1}{2}$ 보다 크다. 따라서 $\frac{3}{4}$ 은 완전 우성 유전 Ee × Ee에서 등장하는 확률로 고정된다.

3연관 염색체에서 $\frac{1}{4}$ 은 서로 다른 연관 상태의 2/1에서 나타나는 확률이므로 염색체 지도는 다음과 같다.

1	0	1	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	0	1	0

Ⓐ가 (가)~(라) 중 적어도 2가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은 1-(1가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률)이므로

$$1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{4} \text{이다.}$$

증명은 [Comment 9]부터를 참고하자.

[Comment 9] 2연관 염색체는 다음과 같이 두 종류로 나뉜다.

염색체 지도	$\begin{matrix} A & \uparrow & \uparrow & a \\ B & \uparrow & \uparrow & b \end{matrix}$	$\begin{matrix} A & \uparrow & \uparrow & a \\ b & \uparrow & \uparrow & B \end{matrix}$
연관의 종류	상인 연관	상반 연관

그에 따른 교배 양상은 다음과 같다.

[Case 1 - 인×인]

염색체 지도	$\begin{matrix} A & \uparrow & \uparrow & a \\ B & \uparrow & \uparrow & b \end{matrix} \times \begin{matrix} A & \uparrow & \uparrow & a \\ B & \uparrow & \uparrow & b \end{matrix}$
교배 양상	상인×상인
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0
자손의 2가지 형질이 모두 열성일 확률	$\frac{1}{4}$

[Case 2 - 인×반]

염색체 지도	$\begin{matrix} A & \uparrow & \uparrow & a \\ B & \uparrow & \uparrow & b \end{matrix} \times \begin{matrix} A & \uparrow & \uparrow & a \\ b & \uparrow & \uparrow & B \end{matrix}$
교배 양상	상인×상반
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{2}$
자손의 2가지 형질이 모두 열성일 확률	0

[Case 3 - 반×반]

염색체 지도	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array} \times \begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array}$
교배 양상	상인×상반
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{2}$
자손의 2가지 형질이 모두 열성일 확률	0

[Comment 10]

대문자로 표시되는 대립유전자를 1이라고
소문자로 표시되는 대립유전자를 0이라고 하자.

모두 이형 접합일 때 3연관 염색체는 다음과 같이 네 종류로 나뉜다.

	1	0	1	0	1	0	1	0
염색체 지도	1	0	1	0	0	1	0	1
	1	0	0	1	0	1	1	0
연관의 종류	인인		인반		반인		반반	

형질의 위상을 동일하다고 가정했을 때, 인반 반인 반반은 모두 2/1로 동일한 양상을 나타낸다. 그에 따른 교배 양상은 다음과 같다.

[Case 1 - 인인×인인]

염색체 지도	1	0	1	0
	1	0	×	1
	1	0		1
교배 양상	인인×인인			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	0			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	$\frac{1}{4}$			

[Comment 11]

[Case 2 - 인인×㉠]

㉠ 인반, 반인, 반반은 모두 2/1의 꼴이므로 3/0과 교배하면 확률 양상이 모두 동일하다.

염색체 지도	1	0	1	0	
	1	0	×	1	0
	1	0	0	1	
교배 양상	인인×인반				
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$				
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0				

[Case 3 - 인반×인반]

염색체 지도	1	0	1	0	
	1	0	×	1	0
	0	1	0	1	
교배 양상	인반×인반				
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$				
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0				

[Case 4 - 인반×반인]

염색체 지도	1	0	1	0	
	1	0	×	0	1
	0	1	0	1	
교배 양상	인반×반인				
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$				
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0				
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0				

[Comment 12]

[Case 5 - 인반×반반]

염색체 지도	1	0	1	0	
	1	0	×	0	1
	0	1		1	0
교배 양상	인반×반반				
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$				
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0				
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0				

[Case 6 - 반인×반인]

인반 × 인반과 정확하게 좌우 대칭이므로 동일한 확률값이 나타난다.

염색체 지도	1	0	1	0	
	0	1	×	0	1
	0	1		0	1
교배 양상	반인×반인				
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$				
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0				

[Case 7 - 반인×반반]

인반 × 반반과 정확하게 좌우 대칭이므로 동일한 확률값이 나타난다.

염색체 지도	1	0	1	0	
	0	1	×	0	1
	0	1		1	0
교배 양상	인반×반반				
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$				
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$				
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0				
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0				

[Comment 13]

[Case 8 - 반반×반반]

염색체 지도	1	0	1	0
	0	1	×	0
	1	0	1	0
교배 양상	반반×반반			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

이를 통해 다음을 도출할 수 있다.

- 1) 자손의 3가지 형질이 모두 열성이려면 반드시 인인 × 인인이어야 한다.
- 2) 대문자 수에 따라 다음과 같이 염색체 종류를 정의하자.

기호	⊖	×	⊕
염색체 종류	1	0	2
	1	0	0
	1	0	1
특징	완전 상인		적어도 1 상반

자손의 3가지 형질이 모두 우성인 경우를 다음과 같이 일반화할 수 있다.

형질 교배	⊖ × ⊖	⊖ × ⊕	서로 같은 ⊕ × ⊕	서로 다른 ⊕ × ⊖
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

[증명 끝]