

2024년 교육청/2025학년도 평가원 기출 모음집 해설지

- 문제의 조건을 반드시 숙지한 후 해설을 보세요. 문제 조건을 정확히 숙지했다는 전제 하에 해설을 씁니다.

1. 막전위	1번	2번		
	ㄱ ㄴ ㄷ	ㄱ		
	3번	4번		
	ㄴ	ㄱ ㄷ		
	5번	6번	7번	
	ㄱ ㄷ	ㄴ	ㄴ ㄷ	

2. 근수축	1번	2번	3번	4번
	ㄱ	ㄱ ㄴ	ㄴ ㄷ	ㄱ ㄷ
	5번	6번	7번	
	ㄴ ㄷ	ㄱ ㄴ ㄷ	ㄴ	

3. 세포 분열	1번	2번	3번	4번
	ㄱ ㄴ	ㄱ	ㄷ	ㄷ
	5번	6번	7번	
	ㄱ ㄷ	ㄴ	ㄴ	
	8번	9번	10번	11번
	ㄴ	ㄱ	ㄴ ㄷ	ㄱ ㄷ

4. 여러 가지 유전	1번	2번	3번	4번
	1/8	ㄱ ㄷ	9	ㄱ ㄴ ㄷ
	5번	6번	7번	
	1/8	1/4	ㄱ	

5. 가계도	1번	2번	3번	4번
	ㄴ ㄷ	ㄱ ㄷ	ㄱ ㄴ ㄷ	ㄴ ㄷ
	5번	6번	7번	
	ㄱ	ㄴ ㄷ	ㄱ	
	8번	9번		
	ㄱ ㄴ	ㄱ		

6. 돌연변이	1번	2번		
	ㄴ	ㄴ		
	3번	4번		
	ㄱ	ㄴ ㄷ		
	5번	6번		
	ㄴ	ㄴ ㄷ		
	7번			
	ㄴ			

1. 막전위

1. 2024년 3월 교육청 모의고사 11번 (답: ㄱ ㄴ ㄷ)

- ① B에서 흥분의 전달은 d_3 에서 d_2 방향으로 일어나므로, B의 d_1 에 자극을 주면 d_3 에는 자극이 전달되지 않는다. 따라서 I 는 d_2 이고, 남은 I 은 d_3 이다. B의 $\text{I}(d_3)$ 에서의 막전위는 -70 이다.
- ② B의 $\text{II}(d_2)$ 에서의 막전위는 -80 , 즉 $1/3$ 이다. 따라서 B의 흥분 전도 속도는 2 이다. 즉 ㉓는 2 이다.
- ③ A의 d_1 에 자극을 주면, 시냅스가 없더라도 자극이 d_3 까지 도달하는 데 걸리는 시간이 2 이다. 즉 A의 $\text{I}(d_3)$ 에서의 앞 시간은 2 보다 크므로, A의 $\text{I}(d_3)$ 에서의 막전위 -50 은 탈분극(\nearrow), 즉 $3/1$ 이다. A의 흥분 전도 속도는 2 이므로, A의 $\text{II}(d_2)$ 는 $2/2$ 로, 막전위는 $+30$ 이다. 즉 ㉑은 $+30$ 이다.

- ㄱ. I 은 d_3 이다. (○)
- ㄴ. ㉓는 2 이다. (○)
- ㄷ. ㉑은 $+30$ 이다. (○)

2. 2024년 5월 교육청 모의고사 12번 (답: ㄱ)

- ① 자극점으로부터 가까울수록 오른쪽에 있어야 하므로, A의 d_2 에서의 막전위인 ㉑이 -80 이고, A의 d_3 에서의 막전위인 ㉒이 $+30$ 이다.
- ② A의 d_2 에서의 막전위는 -80 이고, B의 d_2 에서의 막전위는 $+30$ 이므로, 자극은 B의 d_2 보다 A의 d_2 에 먼저 도달했다. 그런데 A와 B의 흥분 전도 속도가 같으므로, 시냅스는 (나)에 있다.
- ③ A의 d_2 는 $2/3$ 이고, d_3 는 $3/2$ 이다. A에는 시냅스가 없으므로, d_1 로부터 d_2 와 d_3 까지의 거리비가 $2 : 3$ 이다. 즉 ㉓와 ㉔의 비는 $2 : 3$ 이다.

- ㄱ. 시냅스는 (나)에 있다. (○)
- ㄴ. ㉓/㉔는 $2/3$ 이다. (x)
- ㄷ. (나)의 시냅스로 인해서 A의 d_2 보다 B의 d_2 에 1ms 늦게 자극이 도달하였다. A와 B의 흥분 전도 속도는 같으므로, A의 d_4 보다 B의 d_4 에 1ms 늦게 자극이 도달한다. A의 d_4 에서의 앞 시간은 3 보다 크고 4 보다 작으므로, B의 d_4 에서의 앞 시간은 4 보다 크고 5 보다 작다. 따라서 전체 시간이 6 일 때, B의 d_4 에서 탈분극이 일어나고 있다. (x)

※ A의 d_2, d_3, d_4 에서의 막전위가 순서대로 $-80, +30, -10$ 이므로, 간격을 생각해보았을 때 ㉓는 4 이고 ㉔는 6 이라고 추론할 수 있다. 실제로 이 경우 A의 d_4 는 $3.5/1.5$ 이므로, 그래프에서 선을 그려보면 약 -10 이다. 실전에서는 이렇게 ㉓를 4 , ㉔를 6 이라고 두고 풀어도 문제는 없으나, 엄밀하게 이야기하면 ㉓와 ㉔는 비가 $2 : 3$ 인 것만 찾을 수 있고, 실제로 ㉓와 ㉔가 무엇인지는 찾을 수 없다.

3. 2024년 7월 교육청 모의고사 17번 (답: ㄴ)

- ① 자극점에서의 막전위는 전체 시간이 4ms 일 때 -70 이므로, 자극점(P)은 d_2 이다.
- ② 4ms 일 때 I 의 d_3 은 막전위가 -80 이므로 $1/3$ 이다. 4ms 일 때 I 의 d_4 는 막전위가 -68 이고, 6ms 일 때 I 의 d_4 는 막전위가 -60 이므로, 이 -60 은 재분극(\searrow)이다. 따라서 6ms 일 때 I 의 d_4 는 $3.5/2.5$ 이고, 4ms 일 때 I 의 d_4 는 $3.5/0.5$ 이다. 4ms 일 때 II 의 d_1 은 막전위가 -80 이므로 $1/3$ 이고, 6ms 일 때 II 의 d_3 은 막전위가 -80 이므로 $3/3$ 이다.
- ③ II 의 d_1 에서의 앞 시간은 1 이고 d_3 에서의 앞 시간은 3 이므로, II 는 B가 아니다. 따라서 I 은 B이고, II 는 A이다. A(II)의 d_1 에서의 앞 시간은 1 이므로 A의 시냅스 전 뉴런의 흥분 전도 속도는 2 이다. B(I)의 d_3 에서의 앞 시간은 1 이므로 B의 시냅스 전 뉴런의 흥분 전도 속도는 1 이다. 따라서 4ms 일 때 B의 d_1 은 $2/2$ 로, 막전위가 0 이다. 즉 ㉑은 0 이다.
- ④ A(II)의 d_3 에서의 앞 시간은 3 인데, 6ms 일 때 A(II)의 d_4 에서의 막전위는 0 (㉒)이므로, A의 시냅스 후 뉴런의 흥분 전도 속도는 1 과 2 중 2 가 되어야 한다. 즉 ㉓는 2 이고, ㉔는 1 이다. 자동으로 B의 시냅스 후 뉴런의 흥분 전도 속도도 2 가 된다.

- ㄱ. ㉑은 0 이다. (x)
- ㄴ. A를 구성하는 뉴런의 흥분 전도 속도는 모두 2 이다. (○)
- ㄷ. 자극점이 d_2 일 때 B(I)의 d_3 에서의 앞 시간은 1 이고, d_4 에서의 앞 시간은 3.5 이다. 따라서 자극점이 d_3 일 때 B의 d_4 에서의 앞 시간은 2.5 이므로, 전체 시간이 5ms 일 때 B의 d_4 는 $2.5/2.5$ 로, 재분극이 일어난다. (x)

4. 2024년 10월 교육청 모의고사 12번 (답: ㄱ ㄷ)

- ① 흥분 전도 속도가 2 인 뉴런에서 d_1 은 $0/5, d_2$ 는 $1/4, d_3$ 은 $2/3$ 이므로 막전위가 순서대로 $-70, -70, -80$ 이다. 흥분 전도 속도가 1 인 뉴런에서 d_1 은 $0/5, d_2$ 는 $2/3, d_3$ 은 $4/1$ 이므로 막전위가 순서대로 $-70, -80, -60$ 이다.
- ② A와 B의 I~IV 중에서 막전위가 0 인 지점이 존재하는데, A와 B의 $d_1 \sim d_3$ 의 막전위는 0 이 아니다. 또한 B의 속도가 1 이든 2 이든 B의 d_4 에서의 막전위도 0 이 될 수 없으므로, 0 은 A의 d_4 에서의 막전위이다. A의 d_4 에서의 막전위가 0 이 되려면 A의 흥분 전도 속도(㉓)는 2 가 되어야 한다. 자동으로 B의 흥분 전도 속도(㉔)는 1 이 된다.
- ③ A의 $d_1 \sim d_4$ 에서의 막전위는 순서대로 $-70, -70, -80, 0$ 이고, B의 $d_1 \sim d_4$ 에서의 막전위는 순서대로 $-70, -80, -60, -70(5/0)$ 이다. A에서 나열한 막전위를 참고하면 A의 III에서의 막전위는 -70 이고, ㉑, ㉒, ㉓은 $-70, -80, 0$ 중 하나이다. 남은 ㉔은 -60 이 된다. 즉 II 는 d_3 이고, ㉒은 -80 이다. ㉑이 -80 이므로 IV는 d_2 이고, ㉓은 -70 이다. 즉 남은 ㉑은 0 이 되고, I이 d_4 이며, III이 d_1 이다.

7. IV는 d_2 이다. (○)
 8. ㉠은 0이다. (x)
 9. 전체 시간이 5일 때 B의 II(d_3)는 4/1로, 탈분극이 일어나고 있다. (○)

5. 2025학년도 6월 평가원 모의고사 15번 (답: ㄱ ㄷ)

- ① 3ms일 때 A의 d_1 은 1/2이고, A의 d_2 는 2/1이다. A가 (가) 그래프를 따르면 A의 d_1 과 d_2 에서의 막전위가 각각 +30과 -60이 되므로, A는 (나) 그래프를 따른다. 즉 A의 d_1 과 d_2 에서의 막전위는 각각 -80과 -60이다. 따라서 t_1 은 3ms이고, ㉠은 d_1 이고 ㉡은 d_2 이며, y 는 -60이다. 남은 C는 (가) 그래프를 따르고, t_2 는 7ms이며, ㉢과 ㉣은 d_5 와 d_6 중 하나이고, x 는 +30이다. (A의 d_3 과 d_4 에서의 뒷 시간 차이가 0.5라는 것을 이용하여 A, C가 따르는 그래프와 x, y 를 결정할 수도 있다.)
 ② C의 흥분 전도 속도는 2이고 C의 d_5 와 d_6 사이의 거리는 3이므로, C의 d_5 에서의 뒷 시간과 C의 d_6 에서의 뒷 시간 차이는 1.5이다. (가) 그래프에서 -60(y)과 0의 뒷 시간 차이가 1.5이려면, -60이 탈분극(↗)이고, 0이 재분극(↘)이어야 한다. 자극점으로부터 가까울수록 오른쪽에 있으므로, ㉤은 d_6 이고, ㉥은 d_5 이다.

7. x 는 +30이다. (○)
 8. ㉤은 d_5 이다. (x)
 9. 전체 시간이 7일 때 C의 d_5 에서의 막전위는 0↘, 즉 4.5/2.5이다. 따라서 전체 시간이 6일 때 C의 d_5 는 4.5/1.5로, 탈분극이 일어나고 있다. (○)

6. 2025학년도 9월 평가원 모의고사 10번 (답: ㄴ)

- ① III의 d_2 에서의 막전위와 d_5 에서의 막전위가 ㉢로 같다. d_2 와 d_5 는 A~C에서 모두 대칭인 지점이 될 수 없으므로, ㉢는 -70이다.
 ② I의 d_2 에서의 막전위와 d_4 에서의 막전위가 ㉥로 같다. ㉥는 -80과 +30 중 하나이므로, d_2 와 d_4 는 I에서 대칭인 지점이다. 따라서 I의 자극점은 d_3 이고, I은 A가 아니다. 이때 II와 III의 d_3 에서의 막전위는 -70이 아니므로, I은 C이고, II와 III은 A와 B 중 하나이다. 즉 Q는 d_3 이다.
 ③ I(C)의 흥분 전도 속도는 1 또는 2이므로, I(C)의 d_3 과 d_2/d_4 에서의 뒷 시간 차는 0.5 또는 1이다. 따라서 ㉦는 +30이 될 수 없다. 즉 ㉦는 -80이고, ㉡는 +30이다.

- ④ III의 d_3 에서의 막전위가 +30(㉡)이고 d_4 에서의 막전위가 -80(㉥)이므로, III의 자극점인 P는 d_5 이다. II의 자극점도 III과 같은 d_5 인데, d_1 에서의 막전위가 +30(㉡)이므로 II는 시냅스가 있는 A가 될 수 없다. 따라서 II는 B이고, III은 A이다.
 ⑤ B(II)에서 자극점(d_5)으로부터의 거리가 2cm 차이인 d_1 과 d_3 에서의 뒷 시간 차가 1이므로, B의 흥분 전도 속도는 2이다. 자동으로 C의 흥분 전도 속도는 1이 된다. 즉 B(II)의 d_3 이 1/3이므로(또는 d_1 이 2/2이므로), t_1 은 4ms이다. 또한 A(III)의 d_3 에서의 막전위가 +30(㉡)이므로, A의 시냅스는 ㉣가 아니라 ㉡에 있다.

7. ㉡는 +30이다. (x)
 8. ㉡에 시냅스가 있다. (○)
 9. 전체 시간이 3일 때 B의 d_2 는 1.5/1.5로, 탈분극이 일어나고 있다. (x)

7. 2025학년도 수능 12번 (답: ㄴ ㄷ)

- ① A의 흥분 전도 속도는 1인데, d_1 에서의 막전위가 +30, 즉 2/2이므로 A의 자극점(P)은 d_3 이고, ㉠에는 시냅스가 없다. 또한 ㉡에 시냅스가 없다면 A의 d_5 는 2/2로, 막전위가 +30이어야 하는데 A의 d_5 에서의 막전위는 -60이므로, ㉡에는 시냅스가 있다.
 ② C의 d_3 과 d_5 에서의 막전위가 모두 -80, 즉 1/3이므로 C의 자극점(Q)은 d_4 이고, C의 흥분 전도 속도(y)는 1이며, ㉢에는 시냅스가 없다. 자동으로 B의 흥분 전도 속도(x)는 2가 된다. 또한 ㉣에 시냅스가 없다면 C의 d_1 은 3/1로, 막전위가 -60이어야 하는데 C의 d_1 에서의 막전위는 -70이므로, ㉣에는 시냅스가 있다.
 ③ B의 자극점(P)은 A와 같은 d_3 이고, 흥분 전도 속도(x)는 2이다. ㉤에 시냅스가 없다면 B의 d_5 는 1/3으로, 막전위가 -80이어야 하는데 B의 d_5 에서의 막전위는 +30이므로, ㉤에는 시냅스가 있다. ㉠~㉤ 중 세 곳에만 시냅스가 있으므로, ㉢에는 시냅스가 없다. 따라서 B의 d_1 은 1/3으로, 막전위가 -80이다. 즉 ㉡는 -80이다.

7. ㉡는 -80이다. (x)
 8. ㉢에 시냅스가 있다. (○)
 9. 표에서 전체 시간이 4일 때, B의 d_5 에서의 막전위는 +30, 즉 2/2이므로 B의 d_5 에서의 앞 시간은 2이다. 따라서 전체 시간이 3일 때, B의 d_5 는 2/1로, 탈분극이 일어나고 있다. (○)

2. 근수축

1. 2024년 3월 교육청 모의고사 6번 (답: ㄱ)

① t_1 에서 t_2 로 될 때 X의 변화량을 $-2k$ 라고 하면, ㉠의 변화량은 $+k$ 이고, ㉡의 변화량은 $-k$ 이다. 따라서 ㉢는 0.4 이고, k 는 -0.2 이다. 표를 채우면 다음과 같다.

t_1	0.2	0.6	0.4	0.6	0.2	2.0
t_2	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4	2.4
				㉠	㉡	

ㄱ. ㉢는 0.4 이다. (○)

ㄴ. t_1 일 때 X의 길이는 2.0 이다. (x)

ㄷ. H대의 길이는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 길다. (x)

2. 2024년 5월 교육청 모의고사 10번 (답: ㄱ ㄴ)

① t_1 일 때 ㉡의 길이가 $2d$ 이고 A대의 길이가 1.6 이므로 ㉠의 길이는 $1.6-4d$ 이다. 따라서 t_1 일 때 ㉠의 길이와 ㉢의 길이를 더한 값은 $1.6-d$ 이므로, d 는 0.2 이다. t_2 일 때 X의 길이가 2.6 임을 이용해서 표를 채우면 다음과 같다.

t_1	0.6	0.4	0.8	0.4	0.6	2.8
t_2	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	2.6
			㉠	㉡	㉢	

ㄱ. ㉢는 1.1 이다. (○)

ㄴ. H대의 길이는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 0.2 길다. (○)

ㄷ. t_1 일 때 Z_1 로부터 Z_2 방향으로 거리가 1.9 인 지점은 ㉡에 해당한다. (x)

3. 2024년 7월 교육청 모의고사 10번 (답: ㄴ ㄷ)

① t_1 일 때 ㉠ : ㉡ : ㉢ = $1 : 4 : 6$ 이고, t_2 일 때 ㉠ : ㉡ : ㉢ = $3 : 2 : 2$ 이다.

② t_1 일 때 ㉠, ㉡, ㉢의 길이를 각각 $1, 4, 6$ (상댓값)으로 두고, 이 상댓값에 맞는 t_2 일 때의 ㉠, ㉡, ㉢의 길이를 각각 $3x, 2x, 2x$ 라고 하자. ㉠+㉡의 길이는 일정하므로 $1+4=3x+2x$ 또는 $1+6=3x+2x$ 또는 $4+6=2x+2x$ 이다. 즉 x 는 $1, 1.4, 2.5$ 중 하나이다. 이때 1과 $3x, 4$ 와 $2x, 6$ 과 $2x$ 사이의 변화량이 ㉠~㉢의 변화량인 $-k, +k, -2k$ 와 하나씩 매칭되려면, x 가 1 이 되어야 한다. 즉 t_1 일 때 ㉠, ㉡, ㉢의 길이가 $1, 4, 6$ (상댓값)일 때 t_2 일 때 ㉠, ㉡, ㉢의 길이는 $3, 2, 2$ 가 되어야 한다. 따라서 ㉠는 ㉡, ㉢는 ㉢의 길이이다.

③ t_1 일 때 ㉠의 길이(㉡)를 $4y$, ㉡의 길이(㉢)를 y , ㉢의 길이(㉣)를 $6y$ 라고 하자. t_1 일 때 X의 길이는 3.2 인데 이는 $2㉠+2㉡+㉢$, 즉 $16y$ 와 같으므로, y 는 0.2 이다. 표를 채우면 다음과 같다.

t_1	0.8	0.2	1.2	0.2	0.8	3.2
t_2	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	2.4
	㉠ =㉡	㉡ =㉢	㉢ =㉣			

ㄱ. ㉢는 ㉡의 길이이다. (x)

ㄴ. t_2 일 때 H대의 길이는 0.4 이다. (○)

ㄷ. X의 길이가 2.8 일 때 ㉠(㉡의 길이)는 0.4 이고, ㉢(㉣의 길이)는 0.8 이다. 따라서 구하는 분수 값은 2 이다. (○)

※ 위의 풀이는 엄밀한 풀이이고, 실전에서는 비율이 $1 : 4 : 6 - 3 : 2 : 2$ 인 것을 보고 값이 이대로 유지되면서 순서대로 ㉡ : ㉠ : ㉢ 이면 변화량이 맞아떨어지므로, 이를 정답으로 간주하고 풀면 된다. 단, 연습할 때는 비약 없는 엄밀한 풀이를 반드시 공부해야 한다.

4. 2024년 10월 교육청 모의고사 10번 (답: ㄱ ㄷ)

① $l_1 \sim l_3$ 은 모두 X의 길이의 절반을 넘지 않으므로, 단면은 수축 시 ㉠에서 ㉡으로만, 이완 시 ㉡에서 ㉠으로만 변할 수 있다. 그런데 l_2 에서의 구간이 t_1 일 때 ㉡이고 t_2 일 때 ㉢이므로, ㉡와 ㉢는 각각 ㉠과 ㉡ 중 하나이다. 즉 남은 ㉠는 ㉢이다.

② ㉡가 ㉡이고 ㉢가 ㉠이면 t_1 에서 t_2 로 될 때 l_2 에서는 ㉡에서 ㉠으로, l_3 에서는 ㉠에서 ㉡으로 단면이 변하므로 모순이다. 따라서 ㉡는 ㉠이고 ㉢는 ㉡이며, t_1 에서 t_2 로 될 때 X는 수축한다.

③ t_1 에서 t_2 로 될 때 X는 수축하므로, t_1 일 때 ㉡(㉠)의 길이는 $3d$ 이고, t_2 일 때 ㉡(㉠)의 길이는 $2d$ 이다. t_1 일 때 ㉠(㉢)의 길이가 $4d$ 이고 X의 길이가 $14d$ 라고 주어졌으므로, 이를 이용해서 표를 채우면 다음과 같다.

t_1	3d	2d	4d	2d	3d	14d
t_2	2d	3d	2d	3d	2d	12d(=L)
	㉠ =㉡	㉡ =㉢	㉢ =㉠			

ㄱ. ㉡는 ㉠이다. (○)

ㄴ. t_2 일 때 H대의 길이와 t_1 일 때 ㉡의 길이는 $2d$ 로 같다. (x)

ㄷ. $L=12d$ 이므로, $2/5L=4.8d$ 이다. 따라서 t_2 일 때 Z_1 로부터 Z_2 방향으로 거리가 $4.8d$ 인 지점은 ㉢(㉡)에 해당한다. (○)

5. 2025학년도 6월 평가원 모의고사 13번 (답: L C)

① t_1 일 때 A대의 길이가 1.6인데, $\textcircled{L} + \textcircled{E}$ 의 길이는 1.4이므로, t_1 일 때 \textcircled{L} 의 길이는 0.2이고, \textcircled{E} 의 길이는 1.2이다.

② t_2 일 때 X의 길이가 2.8인데, A대의 길이는 1.6이므로, t_2 일 때 \textcircled{G} 의 길이는 0.6이다. 이때 $\textcircled{G} + \textcircled{E}$ 의 길이는 1.4이므로 \textcircled{E} 의 길이는 0.8이다. 표를 채우면 다음과 같다.

t_1	0.8	0.2	1.2	0.2	0.8	3.2(=L)
t_2	0.6	0.4	0.8	0.4	0.6	2.8
	\textcircled{G}	\textcircled{L}	\textcircled{E}			

가. X의 길이는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 0.4 길다. (x)

나. t_1 일 때 \textcircled{L} 의 길이는 0.2이고, t_2 일 때 \textcircled{E} 의 길이는 0.8이므로, 두 길이를 더한 값은 1.0이다. (○)

다. t_1 일 때 X의 Z_1 로부터 Z_2 방향으로 거리가 $3/8L$, 즉 1.2인 지점은 \textcircled{E} 이다. (○)

6. 2025학년도 9월 평가원 모의고사 11번 (답: 가 L C)

① t_1 에서 t_2 로 될 때 H대의 길이가 $2d$ 에서 d 로 감소하므로, t_1 에서 t_2 로 될 때 \textcircled{G} 의 길이는 감소하고 \textcircled{L} 의 길이는 증가한다. \textcircled{a} 가 \textcircled{L} 이고 \textcircled{b} 가 \textcircled{G} 이라면 t_1 일 때보다 t_2 일 때가 분자는 더 크고, 분모는 더 작으므로 분수 값이 t_2 일 때가 더 커야 한다. 따라서 \textcircled{a} 가 \textcircled{G} 이고 \textcircled{b} 가 \textcircled{L} 이다.

② t_1 일 때 X의 길이가 $8d$ 이고 H대의 길이가 $2d$ 이므로 한 쪽 액틴($\textcircled{G} + \textcircled{L}$)의 길이는 $3d$ 이다. 따라서 t_1 일 때 \textcircled{a} 의 길이는 $2d$, \textcircled{L} (\textcircled{b})의 길이는 d 이고, t_2 일 때 \textcircled{a} 와 \textcircled{L} (\textcircled{b})의 길이는 모두 $1.5d$ 이다. 표를 채우면 다음과 같다.

t_1	2d	d	2d	d	2d	8d
t_2	1.5d	1.5d	d	1.5d	1.5d	7d
	\textcircled{G} = \textcircled{a}	\textcircled{L} = \textcircled{b}	\textcircled{E}			

* \textcircled{a} , \textcircled{b} 를 구하기 전, 한 쪽 액틴의 길이가 $3d$ 이고 t_2 에서의 분수 값이 1이므로 t_2 일 때 \textcircled{G} 과 \textcircled{L} 의 길이가 모두 $1.5d$ 라는 것을 먼저 구할 수 있다. k 값을 알기 때문에 표를 다 채울 수 있고, 이에 따라 \textcircled{a} 가 \textcircled{G} 이고 \textcircled{b} 가 \textcircled{L} 인 것이 결정된다. 이 방법도 좋은 방법이지만, 다른 문제에도 확장하기 위해서는 위처럼 분수 값의 변화를 파악하는 풀이를 잘 공부해두는 것이 좋다.

가. \textcircled{a} 는 \textcircled{G} 이다. (○)

나. t_1 일 때 \textcircled{G} 의 길이와 \textcircled{E} 의 길이는 $2d$ 로 같다. (○)

다. t_2 일 때, Z_1 로부터 Z_2 방향으로 거리가 $2d$ 인 지점은 \textcircled{L} 에 해당한다. (○)

7. 2025학년도 수능 13번 (답: L)

① t_1 일 때 X의 길이가 3.4인데 A대의 길이는 1.6이므로 \textcircled{G} 의 길이는 0.9이다. t_1 일 때 \textcircled{L} 의 길이를 x 라고 하면 \textcircled{E} 의 길이는 $1.6 - 2x$ 이다. 즉 t_1 일 때 $(\textcircled{G} - \textcircled{L}) / \textcircled{E} = (0.9 - x) / (1.6 - 2x) = 5/8$ 이고, 방정식을 풀면 x 는 0.4이다.

② t_1 에서 t_2 로 될 때 X의 변화량을 $-2k_1$ 이라고 하면, $\textcircled{G} - \textcircled{L}$ 의 변화량과 \textcircled{E} 의 변화량은 모두 $-2k_1$ 이다. t_1 일 때 $(\textcircled{G} - \textcircled{L}) / \textcircled{E} = 0.5 / 0.8$ 이므로, t_2 일 때 $(\textcircled{G} - \textcircled{L}) / \textcircled{E} = (0.5 - 2k_1) / (0.8 - 2k_1) = 1/2$ 이고, 방정식을 풀면 k_1 은 0.1이다.

③ t_1 에서 t_3 으로 될 때 X의 변화량을 $-2k_2$ 라고 하면, 위와 같은 방법으로 t_3 일 때 $(\textcircled{G} - \textcircled{L}) / \textcircled{E} = (0.5 - 2k_2) / (0.8 - 2k_2) = 1/4$ 이고, 방정식을 풀면 k_2 는 0.2이다. 표를 채우면 다음과 같다.

t_1	0.9	0.4	0.8	0.4	0.8	3.4
t_2	0.8	0.5	0.6	0.5	0.8	3.2
t_3	0.7	0.6	0.4	0.6	0.7	3.0(=L)
	\textcircled{G}	\textcircled{L}	\textcircled{E}			

가. H대의 길이는 t_3 일 때가 t_1 일 때보다 0.4 짧다. (x)

나. t_2 일 때 \textcircled{G} 의 길이는 t_1 일 때 \textcircled{L} 의 길이의 2배이다. (○)

다. t_3 일 때 Z_1 로부터 Z_2 방향으로 거리가 $1/4L$, 즉 0.75인 지점은 \textcircled{L} 에 해당한다. (x)

3. 세포 분열

1. 2024년 3월 교육청 모의고사 12번 (답: ㄱ)

- ① ㉠은 X 염색체 유전자인 b가 4이므로 여자의 2n(4)인 III이고, ㉡은 1이 있으므로 n(1)인 II이다. 자동으로 ㉢은 2n(4)인 I이 된다.
- ② II(㉡)에 A가 있으므로, I(㉢)에도 A가 있다. I(㉢)은 남자의 2n(4)이므로, ㉡는 2이다.

- ㄱ. ㉡는 2이다. (○)
- ㄴ. ㉠(III)은 2n(4)이고, III은 중기의 세포라고 주어졌으므로 ㉠(III)에 2가 염색체가 있다. (○)
- ㄷ. II(㉡)에는 Y 염색체 유전자인 A가 있으므로, II(㉡)에는 X 염색체가 아니라 Y 염색체가 있다. 즉 II(㉡)에서 상염색체 수는 22, X 염색체 수는 0이므로, 상염색체 수와 X 염색체 수를 더한 값은 22이다. (x)

2. 2024년 5월 교육청 모의고사 14번 (답: ㄱ)

- ① A+a, B+b 등 대립 유전자 쌍의 DNA 상대량의 합은 2n(4)인 I에서 4 또는 2 또는 0이고, n(2)인 II에서 2 또는 0이며, n(1)인 III에서 1 또는 0이다.
- ② 그런데 ㉠~㉢은 0이 아니므로, n(2)인 II에서는 무조건 합이 2이고, n(1)인 III에서는 무조건 합이 1이다. 따라서 (가)와 (나)는 II와 III 중 하나이고, ㉠과 ㉢은 1과 2 중 하나이다. 즉 (다)는 I이고, ㉡은 4이다. (다)에서 B+b가 1이 될 수는 없으므로 ㉠은 2이고, 남은 ㉢은 1이다. 즉 (가)가 II이고, (나)가 III이다.
- ③ 2n(4)인 (다)(I)에서 A+a는 4이고 B+b는 2이므로, 이 사람은 남자이고, A+a는 상염색체에 있으며, B+b는 성염색체에 있다.

- ㄱ. ㉠은 2이다. (○)
- ㄴ. (나)는 III이다. (x)
- ㄷ. (다)(I)는 2n(4)이므로 염색체 수가 46이고, (가)(II)는 n(2)이므로 염색체 수가 46이다. 따라서 구하는 분수 값은 1이다. (x)

3. 2024년 5월 교육청 모의고사 16번 (답: ㄷ)

- ① (가)는 a와 ㉠을 갖는 n(1)이고, (나)는 B와 ㉡을 갖는 n(1)이다. 즉 ㉠은 B와 b 중 하나이고, ㉡은 A와 a 중 하나이다.
- ② III은 4가 있으므로 2n(4)이다. ㉠은 B와 b 중 하나이고 ㉡은 A와 a 중 하나이므로 ㉠과 ㉡은 대립 유전자가 아니고, III에서 ㉢은 4이고 ㉣은 2이므로 ㉢과 ㉣도 대립 유전자가 아니다. 따라서 ㉢과 ㉣이 대립 유전자인 A와 a 중 하나이고, ㉠과 ㉡이 대립 유전자인 B와 b 중 하나이다. 이때 III에서 A+a는 4이고 B+b는 2이므로, III은 수컷 P의 세포이고, A와 a는 상염색체에 있으며, B와 b는 성염색체에 있다.

- ③ III(수컷 P의 2n(4))에서 ㉠이 0인데 II에서 ㉠이 1이고(또는 III에서 ㉡이 4인데 II에서 ㉡이 0이고), III에서 ㉢이 0인데 IV에서 ㉢이 1이므로, II와 IV는 모두 암컷 Q의 세포이다.
- ④ 암컷 Q의 세포인 II에 ㉠이 있으므로, ㉠과 ㉡은 X 염색체에 있다. IV에서 대립 유전자인 ㉢과 ㉣이 모두 1이므로 IV는 2n(2)이고, ㉡이 0이므로 ㉠은 2이다. IV(암컷 Q의 2n(2))에서 ㉡이 0인데 I에서 ㉡이 1이므로(또는 IV에서 ㉠이 2인데 I에서 ㉠이 0이므로) I은 수컷 P의 세포이다.
- ⑤ (가)와 (나)가 모두 n(1)이므로, I과 II도 모두 n(1)이고, (가)와 (나)는 I과 II 중 하나이다. (II가 n(1)이라는 것은 IV와의 비교를 통해서도 알 수 있다.) 그런데 (가)에는 a와 ㉠이 있으므로, (가)는 II이고, a는 ㉢이다. 자동으로 ㉣은 A가 되고, (나)는 I이 된다. (나)(I)에는 B와 ㉣(A)이 있으므로, B는 ㉣이다. 자동으로 ㉠은 b가 된다.

- ㄱ. (가)(II)는 암컷 Q의 세포이다. (x)
- ㄴ. IV에 B(㉣)는 없다. (x)
- ㄷ. III과 IV의 핵상은 2n으로 같다. (○)

4. 2024년 7월 교육청 모의고사 8번 (답: ㄷ)

- ① ㉠에는 ㉠이 있는데 ㉡에는 ㉠이 없으므로 ㉡의 핵상은 n이고, ㉢에는 ㉢이 있는데 ㉣에는 ㉢이 없으므로 ㉣의 핵상도 n이다. ㉡에서 A+B와 a+b가 1이므로 ㉡는 n(1)인 III이다. ㉣는 자동으로 n(2)인 II가 된다. 남은 ㉢는 2n(2)인 I이 된다.
- ② ㉡(III)에서 A+B와 a+b가 모두 1이므로, ㉡의 유전자형은 Ab 또는 aB이다. 그런데 ㉡에서 ㉠과 ㉣이 없으므로, ㉡의 유전자형은 Ab이고, ㉣은 A이다.
- ③ ㉠(I)에는 ㉠이 있는데 ㉡(III)에는 ㉠이 없으므로 ㉣(II)에는 ㉠이 있다. ㉠(I)에 ㉣이 없으므로 ㉣(II)에도 ㉣이 없다. n(2)인 ㉣(II)에서 a+b가 2이므로 ㉣(II)의 유전자형은 a"B" 또는 A"b" 또는 a"Y" 또는 Y"b"인데, ㉣(II)는 ㉠을 갖고, ㉢(A)과 ㉣을 갖지 않으므로 ㉣(II)의 유전자형은 a"Y"이다. 즉 ㉠은 a이고, ㉣은 B이다. 따라서 ㉣는 0이고, ㉠(I)의 유전자형은 AabY이므로 ㉣는 2이다. (B/b가 Y 염색체에 존재할 수도 있으나, 남자 세포밖에 없기 때문에 B/b가 X 염색체 유전자라고 해도 일반성을 잃지 않는다.)

- ㄱ. ㉠은 a이다. (x)
- ㄴ. II(㉣)는 유전자형이 a"Y"이므로, II에는 b가 없다. (x)
- ㄷ. ㉠과 ㉣를 더한 값은 2이다. (○)

5. 2024년 10월 교육청 모의고사 9번 (답: ㄱ)

- ① 1이 있는 ㉠과 ㉡은 각각 $2n(2)$ 인 I과 $n(1)$ 인 III 중 하나이다. ㉠에는 b가 없는데 ㉠과 ㉡에 모두 b가 있으므로 ㉠은 $2n(2)$ 가 아니다. 따라서 ㉠은 $n(1)$ 인 III이고, ㉡은 $2n(2)$ 인 I이다.
- ② III(㉠)이 수정되어 IV가 만들어진 것이므로, III(㉠)에 있는 B는 IV에도 있어야 한다. 따라서 ㉠은 $2n(4)$ 인 IV이고, 남은 ㉡은 $n(2)$ 인 II가 된다.
- ③ ㉠(III)과 ㉡(II)에 모두 A가 없으므로 ㉢(I)에도 A가 없고, ㉡(II)에 b가 있으므로 ㉢(I)에도 b가 있다. 따라서 $2n(2)$ 인 ㉢(I)에서 $[A, a]=[0, 1]$ 이고 $[B, b]=[1, 1]$ 이므로, A/a는 상염색체에 있고 B/b는 상염색체에 있다.
- ④ ㉡(II)에 a가 있으므로 ㉠(III)에는 A와 a가 모두 없다. 그런데 ㉠(IV)에 A가 있으므로, 이 A는 난자로부터 온 것이다. 즉 A/a는 X 염색체 유전자이다. Y 염색체를 갖는 정자가 수정되어 ㉠(IV)이 만들어졌으므로, ㉠(IV)은 남자의 세포이며, ㉡는 0이다.

ㄱ. ㉠은 III이다. (○)

ㄴ. ㉡는 0이다. (x)

ㄷ. II($n(2)$)의 염색 분체 수는 46이고, IV(남자의 $2n(4)$)의 X 염색체 수는 1이다. 따라서 구하는 분수 값은 46이다. (○)

6. 2024년 10월 교육청 모의고사 19번 (답: ㄴ)

- ① I과 IV에는 ㉠이 있는데 II에는 ㉠이 없으므로 II의 핵상은 n 이다. I, II, IV에는 ㉡이 있는데 III에는 ㉡이 없으므로 III의 핵상은 n 이다. II, III, IV에는 ㉢이 있는데 I에는 ㉢이 없으므로 I의 핵상은 n 이다.
- ② 핵상이 n 인 세포에서 상염색체 유전자인 H와 h는 둘 중 하나가 존재해야 한다. 따라서 I에서 ㉠과 ㉡, ㉠과 ㉢은 H-h 관계가 아니고, II에서 ㉡-㉢은 H-h 관계가 아니고, III에서 ㉠-㉡은 H-h 관계가 아니라는 것을 알 수 있다. 즉 ㉡은 H/h가 아니고, R와 t 중 하나이다. ㉠-㉡도 H-h 관계가 아니므로 ㉠은 H와 h 중 하나이다.
- ③ H와 h를 구분할 수 없는 문제이므로, 편의상 ㉠을 H라고 하자. I~IV 중 H(㉠)가 있는 세포도 있고 없는 세포도 있으므로 P는 Hh이다. ㉡이 R라면 같은 이유로 P는 Rr인데, 이 경우 P는 HhRr이고 H/h와 R/r은 연관이므로 H와 R가 같이 움직이고 h와 r가 같이 움직이거나, H와 r가 같이 움직이고 h와 R가 같이 움직여야 한다. 하지만 I은 HR이고 II는 hR이므로 ㉡은 R가 아니다.
- ④ ㉡이 R인 경우에도 I~IV 중 R(㉡)가 있는 세포도 있고 없는 세포도 있으므로 P가 Rr이다. 이때 I은 Hr이고 II는 hR이므로 R(㉡)가 있는 III에도 h가 존재해야 하는데, III에는 ㉠과 ㉡이 모두 없으므로 ㉡은 R가 아니다. 따라서 ㉠이 R이다. 자동으로 ㉡은 t가 되고, ㉢은 h가 된다. IV에는 H(㉠)와 h(㉡)가 모두 있으므로 IV의 핵상은 $2n$ 이고, IV에 R(㉠)이 없으므로 P의 유전자형은 $\frac{H}{r}||\frac{h}{r}, tY$ 이다.

ㄱ. ㉠은 Rr이다. (x)

ㄴ. III은 X 염색체 유전자인 t(㉡)를 갖지 않는 핵상이 n 인 세포이므로 Y 염색체를 갖고, IV는 남자 P의 핵상이 $2n$ 인 세포이므로 Y 염색체를 갖는다. 즉 III과 IV에는 모두 Y 염색체가 있다. (○)

ㄷ. P의 (가)의 유전자형은 Hhrr이다. (x)

* I~III이 n 이므로, IV가 $2n$ 이라고 가정하고 풀면 문제를 빠르게 풀 수 있다.

7. 2025학년도 6월 평가원 모의고사 9번 (답: ㄴ)

- ① (가)~(라)의 핵상은 순서대로 $n, 2n, 2n, 2n$ 이다.
- ② (가)를 α 종의 세포, (다)를 β 종의 세포라고 하면, (나)와 (라)는 모두 α 종의 세포이다.
- ③ (나)와 (라)는 모두 α 종의 핵상이 $2n$ 인 세포인데, (나)에는 4개의 염색체, (라)에는 5개의 염색체가 나타나 있으므로, α 종은 $2n=6$ 이고, (나)는 암컷의 세포이고 (라)는 수컷의 세포이며, ㉠은 Y 염색체이다. (가)에도 ㉠(Y 염색체)이 있으므로 (가)도 수컷의 세포이고, (다)는 핵상이 $2n$ 인데 염색체가 5개만 나타나 있으므로 (다)도 수컷의 세포이다.
- ④ (가)와 (라)는 α 종 수컷 개체의 세포이고, (나)는 α 종 암컷 개체의 세포이며, (다)는 β 종 수컷 개체의 세포이다. (가)~(라) 중 2개는 A의 세포이므로 (가)와 (라)가 모두 α 종 수컷 개체인 A의 세포이고, A와 C의 성은 같으므로 (다)가 β 종 수컷 개체인 C의 세포이다. 남은 (나)는 α 종 암컷 개체인 B의 세포가 된다.

ㄱ. ㉠은 Y 염색체이다. (x)

ㄴ. (가)는 A의 세포이다. (○)

ㄷ. α 종과 β 종은 모두 $2n=6$ 이고, B는 암컷, C는 수컷이다. 따라서 구하는 분수 값은 B에서 $2/4(1/2)$, C에서 $1/4$ 로, B가 C보다 크다. (x)

8. 2025학년도 9월 평가원 모의고사 13번 (답: ㄴ)

- ① (가)~(다)의 핵상은 모두 $2n$ 이다.
- ② (가)를 α 종의 세포, (나)를 β 종의 세포라고 하면, (다)는 α 종의 세포이다.
- ③ (나)는 수컷의 세포이다. 즉 (가)와 (다) 중 하나는 수컷의 세포이고, 나머지 하나는 암컷의 세포이다.
- ④ (가)와 (다)를 참고하면, 흰색 염색체와 ㉠이 상동 염색체이고, 검은색 염색체와 ㉡이 상동 염색체임을 알 수 있다. 이때 성별이 서로 다른 (가)와 (다)가 동일하게 검은색 염색체와 ㉡을 가지므로, 이 염색체는 상염색체가 아니다. 즉 ㉠은 상염색체이고, 남은 ㉠이 상염색체이다.
- ⑤ (다)는 동일한 흰색 염색체를 가지므로 암컷의 세포이다. 즉 이 흰색 염색체는 X 염색체이고, (가)는 X 염색체와 ㉡을 가지는 수컷의 세포이므로, ㉠은 Y 염색체이다. 즉 (가)는 A의 세포이고, (나)는 C의 세포이며, (다)는 B의 세포이다.

7. ㉠은 Y 염색체이다. (x)
 8. (나)와 (다)의 핵상은 2n으로 같다. (○)
 9. (가)의 X 염색체 수는 1이고, 염색 분체 수는 12이다. 따라서 구하는 분수 값은 12이다. (x)

9. 2025학년도 9월 평가원 모의고사 16번 (답: ㄱ)

- ① (가)에는 ㉠이 있는데 (나)와 (다)에는 ㉠이 없고, (나)에는 ㉡이 있는데 (가)에는 ㉡이 없으므로, (가)~(다)는 모두 n(2)이다.
 ② (다)에는 ㉠~㉢ 중 ㉢만 있는데, (다)에 A가 있으므로 ㉢은 A이다. (가)와 (나)는 모두 B를 가져서 b를 갖지 않으므로, ㉣은 b이다. n(2)인 (가)에 함께 존재하는 ㉢(A)과 ㉣은 대립 유전자가 아니므로, ㉤은 D이다. 남은 ㉠은 a이다.
 ③ 표를 참고하면 (가)는 A"B"D"이고, (나)는 a"B"d"이며, (다)는 A"B"d"이다. 즉 P의 유전자형은 AaB_Dd이므로, A를 갖는 (가)와 (다), d를 갖는 (나)와 (다)는 모두 같은 생식 세포 형성 과정에서 나타날 수 없다. 따라서 (가)와 (나)가 I로부터 형성된 두 세포이고, (다)가 II로부터 형성된 세포이다. (가)가 A"B"D"이고 (나)가 a"B"d"이므로, P의 유전자형은 AaBBdd이다.

7. ㉣은 b이다. (○)
 8. I로부터 (가)와 (나)가, II로부터 (다)가 형성되었다. (x)
 9. P의 ㉠의 유전자형은 AaBBdd이다. (x)

10. 2025학년도 수능 14번 (답: ㄴㄷ)

- ① (라)에는 ㉠이 있는데 (가)~(다)에는 ㉠이 없고, (다)에는 ㉡이 있는데 (라)에는 ㉡이 없으므로 (가)~(라)의 핵상은 모두 n이다. a+B+D가 홀수인 (나)와 (라)는 n(1)이고, n(1)에서 a+B+D의 최댓값은 3이므로 (가)는 n(2)이다.
 ② (나)는 n(1)인데 a+B+D가 3이므로, (나)의 유전자형은 aBD이다. 즉 (나)에는 a와 D가 존재하고, A와 b가 존재하지 않으므로, (나)에는 ㉣이 있고, ㉣과 ㉤은 a와 D 중 하나이며, ㉠과 ㉡은 A와 b 중 하나이다.
 ③ (가)에는 ㉠과 ㉡(A와 b)이 모두 존재하지 않고, a+B+D가 4이므로, (가)의 유전자형은 a"B"d"이다. 따라서 ㉣은 a이고, ㉤은 D이다. ((가)에 A와 a 중 하나는 있어야 하는데 (가)에는 ㉠~㉢ 중 ㉣만 존재하므로, ㉣이 a라고 해도 된다.) 그런데 (다)에 ㉣(a)이 없어서 A가 있어야 하므로, ㉠이 A이고, ㉡이 b이다.

- ④ ㉠~㉢이 각각 A, a, D, b라는 것을 토대로 정리해보면, (가)는 a"B"d"이고, (나)는 aBD이며, (다)는 n(1)인 ABD이고, (라)는 abd이다. 즉 이 사람(P)의 유전자형은 AaBbDd이므로, 유전자가 겹치지 않는 (다)와 (라)가 G₁기 세포 I로부터 형성된 두 세포이다. 또한 n(2)인 (가)가 G₁기 세포 II로부터 형성된 ㉡이고, 남은 (나)가 G₁기 세포 III로부터 형성된 세포이다. ㉡((가))가 a"B"d"이므로, 반대쪽의 ㉢은 A"B"D"이다.

7. ㉡은 b이다. (x)
 8. I로부터 (다)가 형성되었다. (○)
 9. ㉢은 A"B"D"이므로, ㉢에서 a+b+D는 4이다. (○)

11. 2025학년도 수능 18번 (답: ㄱㄷ)

- ① (가)는 2n(4)이고, (나)는 n(1)이다. (가)에서 T가 있는 흰색 염색체와 ㉠이 상동 염색체이므로, T와 t는 상염색체 유전자이고, H와 h는 상염색체 유전자이다.
 ② I에서 H+t가 3이므로, I은 2n(2)이다. 이때 I에서 h+t는 1이므로, I에서 H, h, t는 각각 2, 0, 1이다. II에서 H+t가 0이고 h+t가 2이므로, II에서 H, h, t는 각각 0, 2, 0이다. III은 h+t가 0이므로, h와 t가 모두 0이다. 이를 재배치를 통해 표로 정리하면 다음과 같다.

	H	h	T	t
I	2	0		1
II	0	2		0
III		0		0
IV				

- 이때 2n(2)인 I에서 h가 0인데 II에서 h가 2이므로, I과 II는 같은 개체의 세포가 아니다.
 ③ I은 2n(2)이고, II는 상염색체 유전자인 H와 h의 합이 2이므로 2n(4)나 n(1)이 아니다. H+t가 4인 IV는 n(1)이 될 수 없으므로, III이 n(1)인 (나)이고, IV가 2n(4)인 (가)이다.
 ④ (가)(IV)에는 h와 T가 있는데, IV에서 H+t는 4이므로, IV에서 H, h, T, t는 모두 2이다. 즉 IV는 암컷 Q의 2n(4)이고, T와 t는 X 염색체에 있다. 따라서 (가)(IV)에 있는 ㉠은 X 염색체이고, 남은 ㉣은 Y 염색체이다. 즉 III((나))은 수컷 P의 n(1)이다. 또한 암컷 Q의 2n(2)에서 H, h, T, t는 모두 1이므로, I은 수컷 P의 2n(2)이다. 자동으로 II는 암컷 Q의 세포가 되는데, IV와 비교하면 II는 n(2)이다. 재배치를 마무리하면 다음과 같다.

	H	h	T	t
I	2	0	0	1
II	0	2	2	0
III	1	0	0	0
IV	2	2	2	2

7. (나)(III)는 수컷 P의 세포이다. (○)
 8. I의 핵상은 2n이고, III의 핵상은 n이므로, I과 III의 핵상은 서로 다르다. (x)
 9. II와 IV에서 T의 DNA 상대량은 2로 같다. (○)

4. 여러 가지 유전

1. 2024년 3월 교육청 모의고사 13번 (답: 1/8)

- ① P는 1I0, 1I0, 1I1, Ee 이고, P와 Q의 (가)의 표현형은 같으므로 Q의 (가)의 표현형은 (4)이다. 따라서 Q는 (가)에 대해서 1I1, 1I1, 이0 또는 1I1, 1I0, 1I0 이다. 또한 ②의 표현형은 유전자형이 AABbDdEe인 사람, 즉 (가)의 표현형이 (4)이고 (나)의 표현형이 EE인 사람과 같을 수 있으므로, Q의 (나)의 유전자형은 EE 또는 Ee이다.
- ② Q가 (가)에 대해서 1I1, 1I0, 1I0 이면 ②의 (가)의 표현형이 (4)일 확률은 ${}_2C_2/2^4$, 즉 3/8이므로 문제의 조건을 만족하지 않는다. 따라서 Q는 (가)에 대해서 1I1, 1I1, 이0 이고, 이때 ②의 (가)의 표현형이 (4)일 확률은 ${}_2C_1/2^2$, 즉 1/2이다. 따라서 ②의 (나)의 표현형이 EE일 확률은 1/4이 되어야 하므로, Q의 (나)의 유전자형은 Ee 이다.
- ③ ②가 유전자형이 AaBbDdEe인 사람과 표현형이 같을 확률은 ②의 (가)의 표현형이 (3)일 확률인 ${}_2C_0/2^2$, 즉 1/4과 ②의 (나)의 표현형이 Ee일 확률인 1/2을 곱한 1/8이다.

2. 2024년 5월 교육청 모의고사 11번 (답: ㄱㄷ)

- ① II와 III에는 B와 b가 모두 있으므로(또는 III에는 D와 d가 모두 있으므로) II와 III의 핵상은 모두 2n이다. II에는 a가 없는데 I에는 a가 있으므로(또는 II에는 d가 없는데 I에는 d가 있으므로) I과 II는 다른 개체의 세포이다. 따라서 I과 III은 남자 P의 세포이고, II는 여자 Q의 세포이다.
- ② 남자 P는 aaBbDd이고, 여자 Q는 AABbDD이다. ②가 가질 수 있는 (가)~(다)의 유전자형이 4가지인데, B/b가 독립이라면 ②가 가질 수 있는 (나)의 유전자형이 3가지가 되므로, B/b는 5번 염색체에 있다. 이때 A/a가 B/b와 연관이라면 ②가 가질 수 있는 (가)와 (나)의 유전자형이 3가지가 되므로, A/a는 7번 염색체에 있다. 남은 D/d는 5번 염색체에 있다.
- ③ 남자 P의 핵상이 n인 세포 I에서 B와 d가 모두 있으므로, 남자 P는 aa, $\frac{B}{b}||\frac{b}{B}$ 이다. 여자 Q는 AA, $\frac{B}{b}||\frac{b}{B}$ 이다.

ㄱ. I에서 B와 d는 모두 5번 염색체에 있다. (○)

ㄴ. II는 여자 Q의 세포이다. (x)

ㄷ. ②가 (가)의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은 1이다. 따라서 구하는 확률은 ②가 (나)와 (다) 중 적어도 1가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률과 같다. 여사건을 이용하면 해당 확률은 1에서 ②가 (나)와 (다)의 유전자형을 모두 동형 접합성으로 가질 확률인 1/4을 뺀 3/4이다. (○)

3. 2024년 7월 교육청 모의고사 11번 (답: 9)

- ① I과 II 사이에서 bb가 나올 수 있으므로 I과 II는 모두 b를 갖는다. 이때 I과 II의 (나)의 표현형이 bb로 같으면 1/16이라는 확률이 나올 수 없으므로, I과 II의 (나)의 표현형은 Bb로 같다.
- ② ②의 (나)의 표현형과 유전자형이 III과 같은 bb일 확률은 1/4이므로, ②의 (가)와 (다)의 표현형이 III과 같은 '우성, D'일 확률은 1/4이고, ②의 (가)와 (다)의 유전자형이 III과 같은 AaDf일 확률도 1/4이다. I과 II 중 한 명이 $\frac{A}{a}$ 를 가지면 ②의 표현형이 '우성, D'일 확률이 1/2 이상이 되므로, I과 II 중 한 명은 $\frac{A}{a}$ 를 갖고, 나머지 한 명은 $\frac{I}{D}$ 를 갖는다.
- ③ 해설의 편의상 I과 II 중 $\frac{A}{a}$ 를 갖는 사람을 ㉠, $\frac{I}{D}$ 를 갖는 사람을 ㉡라 하자. I과 II의 (가)의 표현형이 같고 (다)의 표현형이 다르므로 ㉠은 D를 갖지 않고, ㉡는 A를 갖는다. ③의 표현형이 '우성, D'일 확률이 1/4이므로 ㉠은 a를 갖고, ㉡의 A에는 E 또는 F가 연관되어 있다. 정리하면 ㉠은 $\frac{A}{a}||\frac{E}{e}$ 또는 $\frac{A}{a}||\frac{F}{f}$ 이고, ㉡는 $\frac{A}{a}||\frac{D}{d}$ 또는 $\frac{A}{a}||\frac{D}{D}$ 이다.
- ④ ②의 (나)의 표현형이 II와 같을 확률은 1/2이므로, ②의 (가)와 (다)의 표현형이 II와 같을 확률이 0이다. 이때 ②의 표현형이 '우성, D'일 확률이 1/4이므로, II가 ㉠(표현형이 '우성, D')라면 ②의 표현형이 II와 같을 확률이 0이 될 수 없다. 즉 II는 ㉡이고, 남은 I은 ㉠이다. 또한 위의 확률이 0이 되기 위해서는, I은 $\frac{A}{a}||\frac{E}{e}$, II는 $\frac{A}{a}||\frac{D}{d}$ 가 되어야만 한다.
- ⑤ ③에게서 나타날 수 있는 (가)와 (다)의 표현형은 '우성, D', '우성, E', '열성, D'의 3가지이고, ③에게서 나타날 수 있는 (나)의 표현형은 BB, Bb, bb의 3가지이므로, ③에게서 나타날 수 있는 (가)~(다)의 표현형은 9가지이다.

4. 2024년 10월 교육청 모의고사 20번 (답: ㄱㄴㄷ)

- ① P는 AB이고, ②가 BD인 사람과 같은 표현형을 가질 확률이 3/4이다. 복대립 유전(H > R > T)에서 3/4이 나오는 경우는, HR x HR, HT x HT, HR x HT에서 H가 나올 때, RT x RT에서 R가 나올 때뿐이다. 즉 3/4이 되기 위해서, AB와 BD의 표현형은 모두 B가 되어야 하고, Q의 (가)의 표현형도 B가 되어야 한다. 즉 B가 A, D에 대해서 모두 우성이다.
- ② ②가 유전자형이 DDEeffGg인 사람, 즉 (가)의 표현형이 D이고 (나)의 표현형이 (2)인 사람과 표현형이 같을 확률이 1/16이다. ②의 (가)의 표현형이 D가 될 수 있으므로 Q는 BD이고, AB(P)와 BD(Q) 사이에서 표현형이 D인 자손이 나온 것이므로 D가 A에 대해 우성이다. 즉 (나)의 우열 관계는 B > D > A 이고, ②의 (가)의 표현형이 D일 확률은 1/4이다. 따라서 ㉠은 B, ㉡은 D, ㉢은 A이다.

③ ②의 (나)의 표현형이 (2)일 확률은 1/4이다. P가 110, 110, 110 이므로, (나)의 표현형이 (2)일 확률이 1/4 이 될 수 있는 부모의 기본 부정형은, 표현형의 비율이 1 : 4 : 6 : 4 : 1 인 110, 110, 110, 110 뿐이다. 즉 Q는 110 을 1개 갖고, Q의 (나)의 표현형은 P와 같은 (3)이므로 Q 는 111 과 110 을 하나씩 더 갖는다. (Q의 표현형이 (3) 이므로 Q는 110, 110, 110 또는 111, 110, 110 인데, 전자의 경우 ②의 (나)의 표현형이 (2)일 확률이 ${}^6C_2/2^6$, 즉 15/64이므로 Q가 111, 110, 110 이라고 구해도 된다.)

7. ㉞은 A이다. (○)

㉞. 기본 부정형이 110, 110, 110, 110 이므로, ②에게서 나타날 수 있는 (나)의 표현형은 최대 5가지이다. (○)
 ㉞. P의 (가)의 표현형은 B이고, (나)의 표현형은 (3)이다. 따라서 ③의 (가)의 표현형이 P와 같을 확률은 3/4 이고, (나)의 표현형이 P와 같을 확률은 ${}^4C_2/2^4$, 즉 3/8이다. 따라서 구하는 확률은 두 확률을 곱한 9/32이다. (○)

5. 2025학년도 6월 평가원 모의고사 14번 (답: 1/8)

- ① (가)의 우열 관계는 $A = D > B$ 이다.
- ② ②에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형이 12 가지이므로, ②에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형과 (나)의 표현형은 각각 3가지와 4가지 중 하나이다. 만약 (나)의 표현형이 4가지라면, (나)가 2연관 다인자임을 고려했을 때 부모(P와 Q)의 기본 부정형이 210, 110 인데, 이 경우 P와 Q의 (나)의 표현형이 서로 같을 수 없다. 따라서 ②에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형이 4가지이고, (나)의 표현형이 3가지이다.
- ③ ②에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형이 4가지이므로, 부모(P와 Q)는 각각 AB와 DB 중 하나이다. P가 AB이므로, Q는 DB이다. 또한 ②에게서 나타날 수 있는 (나)의 표현형이 3가지이므로, (나)가 2연관 다인자임을 고려했을 때 부모(P와 Q)의 기본 부정형은 210, 210 또는 110, 110 이다. 그런데 P는 EeFf, 즉 210 또는 111 이므로, 부모(P와 Q)의 기본 부정형은 210, 210 이고, 이에 따라 P와 Q는 모두 210 이 된다.
- ④ P는 AB, 210 이고, Q는 DB, 210 이다. ③의 (가)의 표현형이 Q와 같은 D일 확률은 1/4이고, (나)의 표현형이 Q와 같은 (2)일 확률은 ②의 (나)의 표현형과 그 비율이 (4) : (2) : (0) = 1 : 2 : 1 이므로 1/2이다. 따라서 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/8이다.

6. 2025학년도 9월 평가원 모의고사 19번 (답: 1/4)

- ① (가)~(다)의 연관/독립 상태는 2연관 1독립이다. (가)의 유전자는 (다)의 유전자와 서로 다른 상염색체에 있으므로, (나)는 독립이 아니다.
- ② ②에게서 나타날 수 있는 (가)~(다)의 표현형이 8가지이므로, 2연관 쪽에서 나타날 수 있는 표현형이 4가지이고, 1독립 쪽에서 나타날 수 있는 표현형이 2가지이다. 따라서 우열 관계가 $A = a$ 이고, P와 Q가 모두 Aa인 (가)는 독립이 아니다. 따라서 (다)가 독립이고, (가)와 (나)가 연관이다.
- ③ P가 DD이고 Q가 Dd인데 ②에게서 나타날 수 있는 (다)의 표현형이 2가지이므로, (다)는 중간 유전이다. 자동으로 (나)는 B가 b에 대해 우성인 완전 우성 유전이 된다. P와 Q가 모두 AaBb인데 ②에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형이 4가지이므로, ②가 Aa일 때의 (나)의 표현형이 서로 달라야 한다. 따라서 P와 Q 중 하나는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{b}$ 이고, 나머지 하나는 $\frac{A}{b}||\frac{a}{B}$ 이다. (연관 AaBb x AaBb 의 결과를 상인 x 상인, 상반 x 상반, 상인 x 상반 모두 외워두었다면, 상인 x 상인이나 상반 x 상반은 유전자형 비율이 1 : 2 : 1 로 나오므로 상인 x 상반이 정답이라는 것을 바로 구할 수도 있다.)
- ④ 유전자형이 AabbDd인 아버지는 $\frac{A}{b}||\frac{a}{b}$, Dd이고, 유전자형이 AaBBDD인 어머니는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$, Dd이다. 아버지와 어머니 사이에서 태어난 아이의 (가)와 (나)의 표현형이 Q와 같은 'Aa, 우성'일 확률은 1/2이고, (다)의 표현형이 Q와 같은 Dd일 확률도 1/2이므로, 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/4이다.

7. 2025학년도 수능 15번 (답: ㄱ)

- ① I과 III 사이에서 태어난 아이의 (가)의 표현형이 D, (나)의 표현형이 T일 확률이 9/16이므로, 이 아이의 (가)의 표현형이 D일 확률과 (나)의 표현형이 T일 확률은 각각 3/4이다. 복대립 유전($A > B > C$)에서 3/4이 나오는 경우는, $AB \times AB$, $AC \times AC$, $AB \times AC$ 에서 A가 나올 때, $BC \times BC$ 에서 B가 나올 때뿐이다. 따라서 I과 III은 모두 D와 T를 갖고, D와 T는 각각 (가)와 (나)의 최열성 유전자가 아니다. 따라서 ㉠은 D이고, ㉡은 T이다. 이때 I(RT)과 III(HT) 사이에서 태어난 아이의 표현형이 T일 확률이 3/4이므로, T는 (나)의 최우성 유전자이다.
- ② ②에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형이 9가지이므로, ②에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형과 (나)의 표현형은 각각 3가지이다. 복대립 유전($A > B > C$)에서 자손의 표현형 가짓수가 3인 경우는 부모가 AC x BC일 때뿐이다. 따라서 II와 IV는 모두 (가)와 (나)의 최열성 유전자를 갖는다. IV는 D㉢인데, D는 (가)의 최열성 유전자가 아니므로, ㉢이 최열성 유전자이다. II는 E㉣인데, E이 최열성 유전자라서 ㉣은 최열성 유전자가 아니므로, E가 최열성 유전자이다. 즉 ㉢은 E이고, 남은 ㉣은 F이다. 이때 I(ED)과 III(DF) 사이에서 태어난 아이의 표현형이 D일 확률이 3/4이므로, D는 최우성 유전자이다. 즉 (가)의 우열 관계는 $D(㉠) > F(㉣) > E(㉢)$ 이다.

③ ㉔이 T이므로 II가 HT이고, IV는 R㉔인데 T는 (나)의 최우성 유전자이므로, (나)의 최열성 유전자는 H이고, ㉔은 H이다. 즉 (나)의 우열 관계는 T(㉔) > R > H(㉔) 이다.

7. ㉑은 D이다. (○)

L. (나)의 우열 관계는 T > R > H 이다. 즉 R가 H에 대해 완전 우성이다. (x)

C. II는 EF, HT이고, IV는 DE, RH이다. 따라서 ㉔의 (가)의 표현형이 II와 같은 F일 확률은 1/4이고, (나)의 표현형이 II와 같은 T일 확률은 1/2이므로, 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/8이다. (x)

5. 가계도 분석

1. 2024년 3월 교육청 모의고사 17번 (답: L C)

① E는 D와 F에 대해 각각 완전 우성이므로, (가)의 우열 관계는 E > D > F 또는 E > F > D 이다.

② 3이 DD인데 표현형이 ㉑이므로, ㉑은 D이다. 또한 표현형이 ㉒인 4와 5 사이에서 표현형이 ㉔인 7이 나왔으므로, ㉒은 ㉔에 대해 우성이다. E가 F에 대해 우성이므로, ㉒은 E이고 ㉔은 F이다.

③ 이때 6은 D를 1개 갖는데 표현형이 ㉔(F)이므로, 6은 DF이고, F는 D에 대해 우성이다. 즉 (가)의 우열 관계는 E(㉒) > F(㉔) > D(㉑) 이다.

7. (가)의 우열 관계는 E > F > D 로, D는 F에 대해 완전 우성이 아니다. (x)

L. 7의 표현형은 F(㉔)인데 7은 D를 갖지 않으므로, 7은 FF이다. 7이 FF이므로 표현형이 E(㉒)인 4와 5는 모두 EF이다. 표현형이 F(㉔)인 2는 E를 갖지 않으므로, 5는 E를 ㉒로부터 받은 것이다. 따라서 ㉒의 표현형은 E, 즉 ㉒이다. (○)

C. 1은 D를 갖는데 표현형이 E(㉒)이므로 ED이다. 이때 4는 EF이므로 ㉔는 F를 갖는데, ㉔는 D도 가지므로 ㉔는 FD이다. 4와 5는 모두 EF이므로, 4와 5 사이에서 태어난 아이의 표현형이 ㉔와 같은 F일 확률은 1/4이다. (○)

2. 2024년 5월 교육청 모의고사 19번 (답: 7 C)

① (가)에 대해서 5(딸)는 병인데 4(아빠)는 정상이므로 (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다.

② 5는 4와 (가)의 표현형이 달라서 AA(우성 동형 접합)가 될 수 없고, 3, 4, 5의 (나)의 표현형이 모두 다르기에 5가 EE가 될 수도 없다. 따라서 5에서 A와 E는 모두 1이고, 5가 A를 가지므로 (가)는 우성 형질이다.

③ 3은 (가)에 대해서 병이라서 A를 갖는데, 2와 (가)의 표현형이 달라서 AA(우성 동형 접합)가 될 수 없으므로, 3에서 A와 E는 모두 1이다. 즉 3과 5는 E를 1개씩 갖는데, 3, 4, 5의 (나)의 표현형이 모두 다르려면 3, 4, 5 중 FF인 사람이 있어야 하므로, 4가 FF이다. 4가 FF이므로 5는 EF이고, 남은 3의 (나)의 표현형은 D가 되어야 하므로 3은 DE이다.

④ 1은 (가)에 대해서 병이므로 A를 갖는다. 따라서 1은 E를 갖지 않는다. 즉 3의 E는 2로부터, 3의 D는 1으로부터 온 것이다. 마찬가지로 1, 2, ㉔의 (나)의 표현형이 모두 다르려면 1, 2, ㉔ 중 FF인 사람이 있어야 하므로, ㉔가 FF이다. ㉔가 FF이므로 1은 DF이고, 2는 EF이다.

⑤ ㉔는 FF이므로 E를 갖지 않고, A를 1개 갖는다. 즉 ㉔는 (가)에 대해서 병인 남자이다. (가)에 대해서 ㉔(아들)는 병인데 2(엄마)는 정상이므로, (가)는 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. 따라서 (가)는 우성 일반 유전이다. ((가가)가 우성 형질이어서 2는 aa이므로, ㉔(남자)가 A와 a를 모두 가져야 해서 (가)는 우성 일반 유전이라고 해도 된다.)

7. ㉔에게서 (가)가 발현되었다. (○)

L. 1은 DF이고, 4는 FF이다. 즉 1과 4의 (나)의 유전자형은 서로 다르다. (x)

C. 3은 Aa, DE이고, 4는 aa, FF이다. 따라서 3과 4 사이에서 태어난 아이의 (가)의 표현형이 3과 같은 병일 확률은 1/2, (나)의 표현형이 3과 같은 D일 확률도 1/2이므로, 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/4이다. (○)

3. 2024년 7월 교육청 모의고사 16번 (답: 7 L C)

* H'는 h로, T'는 t로 표기함.

① 남자인 자녀 1에서 H가 2이므로 (가)는 일반 유전이다. 자동으로 (나)는 X 염색체 반성 유전이 된다.

② 자녀 1은 HH, tY이고, 자녀 2는 Hh이다. 부모는 모두 H를 가지므로 ㉑과 ㉒은 1과 2 중 하나이다. 따라서 ㉔은 O이다. 또한 아버지에서 X 염색체 유전자인 T가 2가 될 수는 없으므로, ㉒이 1이고 ㉑이 2이다. 정리하면 아버지는 HH, TY, 어머니는 Hh, tt, 자녀 1은 HH, tY, 자녀 2는 Hh, Tt이다.

7. ㉑은 2이다. (○)

L. 아버지가 HH이므로, 자녀 2는 H를 아버지로부터 물려받았다. (○)

C. 어머니의 (나)의 유전자형은 tt로, 동형 접합성이다. (○)

4. 2024년 7월 교육청 모의고사 20번 (답: L C)

① (나)에 대해서 3과 4(부모)는 병인데 7(자손)은 정상이므로 (나)는 우성 형질이다. 또한 (가)에 대해서 4(엄마)는 병인데 7(아들)은 정상이므로 (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다.

② (나)는 우성 형질이고, 3과 6은 모두 BB(우성 동형 접합)가 될 수 없으므로, 3은 Bb 또는 BY, 5는 bb 또는 bY, 6은 Bb이다. 즉 (나)가 우성 일반 유전이면 3, 5, 6의 b의 합은 4이고, (나)가 우성 X 염색체 반성 유전이면 3, 5, 6의 b의 합은 2이다. 즉 3, 5, 6의 a의 합은 1 또는 3이다.

③ (가)가 우성 형질이면 3과 5가 모두 a만 갖고, (가)가 열성 형질이면 6이 aa이므로 3, 5, 6의 a의 합은 1이 될 수 없다. 따라서 (나)는 우성 X 염색체 반성 유전이고, (가)와 (나)의 유전자는 서로 다른 염색체에 있으므로 (가)는 일반 유전이다.

④ 3, 5, 6의 a의 합은 3이 되어야 하는데, 3과 5가 aa일 수는 없으므로 6이 aa이고, (가)는 열성 일반 유전이다. 이때 1이 aa여서 5는 Aa이므로, 3, 5, 6의 a의 합이 3이 되려면 3은 AA가 되어야 한다. 즉 3은 AA, BY, 5는 Aa, bY, 6은 aa, Bb이므로, ㉠은 0, ㉡은 2, ㉢은 3이다.

㉠. ㉠은 0이다. (x)

L. (가)의 유전자는 상염색체에 있다. (○)

C. 6은 aa, Bb이고, 4가 aa이므로 7은 Aa, bY이다. 따라서 6과 7 사이에서 태어난 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 1/2, (나)가 발현될 확률도 1/2이므로, 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/4이다. (○)

5. 2024년 10월 교육청 모의고사 15번 (답: ㉠)

① (가)에 대해서 4(아들)는 병인데 2(엄마)는 정상이므로 (가)는 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. (4와 2의 관계 대신 6와 3의 관계를 봐도 된다.) (나)에 대해서 5(딸)는 병인데 1(아빠)은 정상이고, 7(아들)은 병인데 3(엄마)은 정상이므로 (나)는 X 염색체 반성 유전이 아니다. 따라서 (나)는 일반 유전이다.

② 1, 2, 5의 H의 DNA 상대량이 각각 ㉠, ㉡, ㉢이므로, 1, 2, 5의 H의 DNA 상대량은 순서 없이 0, 1, 2이다. (가)의 표현형이 같으면 H(우성 유전자)의 유무가 같으므로, 2에서 H가 0이고, 1과 5가 H를 갖는다. 즉 ㉡은 0이고, (가)는 우성 형질인데, (가)는 우성 X 염색체 반성 유전이 아니므로 우성 일반 유전이다. 1과 5 중 HH(우성 동형 접합)가 될 수 있는 사람은 1뿐이므로, ㉠이 2이고 ㉢이 1이다.

③ ㉢이 1이므로 1은 Tt인데, 1은 (나)에 대해서 정상이므로 (나)는 열성 일반 유전이다.

㉠. ㉢은 1이다. (○)

L. (가)는 우성 형질이고, (나)는 열성 형질이다. (x)

C. 유전자형을 채워보면 1은 HH, Tt, 2는 hh, tt, 3은 hh, Tt, 4는 Hh, tt, 5는 Hh, tt, 6은 Hh, Tt, 7은 hh, tt이다. 따라서 이 가계도 구성원 중 (가)와 (나)의 유전자형이 모두 동형 접합성인 사람은 2와 7로, 2명이다. (x)

6. 2025학년도 6월 평가원 모의고사 12번 (답: L C)

① I은 G₁기 세포, 즉 2n(2)인데, A와 a의 합이 1이므로, A와 a는 성염색체 유전자이다. 어머니도 A와 a를 가지므로, A와 a는 X 염색체 유전자이다. 자동으로 B와 b, D와 d도 X 염색체 유전자가 된다.

② 아버지의 2n(2)(I)에 A, B, d가 있으므로, 아버지는 (ABd)/Y 이다. 어머니의 세포 II에서 A와 a의 합이 4이므로, II는 2n(4)(감수 1분열 중기 세포)이다. II에서 B와 b의 합, D와 d의 합도 모두 4이므로, ㉠은 4이고, 어머니는 AaBBDD이다.

③ 아들의 세포 III에 1이 있으므로, III은 n(1)(생식세포)이다. 자동으로 딸의 세포 IV는 n(2)(감수 2분열 중기 세포)가 된다. 아들의 n(1)(III)에 a와 B가 있다는 것은, 이 세포가 X 염색체를 갖는다는 의미이다. 따라서 이 세포에는 d가 존재한다. 즉 아들은 (aBd)/Y 이다. 따라서 어머니는 (aBd)/(ABD) 이다.

④ 딸의 n(2)(IV)에는 X 염색체가 있으므로, IV는 A, B, D를 모두 갖는다. 즉 ㉡는 2이고, 딸은 A, B, D가 연관된 염색체를 갖는다. 딸은 아버지에게서 A, B, d가 연관된 염색체를 받아야 하므로, 딸은 (ABD)/(ABd) 이다.

㉠. ㉠+㉡=6 이다. (x)

L. II는 2n(4)이므로 염색 분체 수는 4n개(정확히는 92개), IV는 n(2)이므로 염색 분체 수는 2n개(정확히는 46개)이다. 따라서 구하는 분수 값은 2이다. (○)

C. ㉠(딸)의 (가)의 유전자형은 AaBBDD이다. (○)

7. 2025학년도 6월 평가원 모의고사 19번 (답: ㄱ)

① (가)에 대해서 1과 2(부모)는 정상인데 3(자손)은 병이므로 (가)는 열성 형질이다. (나)에 대해서 2(엄마)는 병인데 3(아들)은 정상이므로 (나)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다. (2와 3의 관계 대신 4와 1의 관계를 봐도 된다.)

② ③에서 B와 b가 모두 ㉠이므로, ㉠은 1이다. ③는 남자인데 B와 b를 모두 가지므로, (나)는 일반 유전이다. 자동으로 (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이 된다.

③ 3에서 B가 1(㉠)이므로 (나)는 열성 일반 유전이다. 즉 4와 6은 모두 bb이므로, ㉡은 0이고 ㉢은 2이다.

ㄱ. (가)의 유전자는 X 염색체에 있다. (○)

ㄴ. 이 가계도 구성원 중 체세포 1개당 a의 DNA 상대량이 ㉢(2)인 사람, 즉 aa인 사람은 (가)에 대해서 병인 여자인 6뿐이다. (x)

ㄷ. 6이 aa이므로 ②는 aY, Bb이고, 5는 Aa, bb이다. 따라서 ②와 5 사이에서 태어난 아이에게서 (가)가 발현되지 않을 확률은 1/2, (나)가 발현될 확률도 1/2이므로, 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/4이다. (x)

8. 2025학년도 9월 평가원 모의고사 17번 (답: ㄱ ㄴ)

① (나)에 대해서 1(아빠)는 병인데 6(딸)은 정상이므로 (나)는 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다.

② 3은 H와 r를 갖지 않는데 (가)와 (나)에 대해서 모두 정상이므로, (가)는 우성 일반 유전이고, (나)는 열성 형질이다. 2, 3, 5, 7, 8의 (가)의 유전자형은 각각 hh, hh, hh, Hh, hh이므로, 이를 이용해서 DNA 상대량 표를 재배치하면 다음과 같다.

	2(여)	3(남)	5(남)	7(남)	8(여)
H	0	0	0	1	0
r	1	0	1	0	1
R	1				1
t	2				1

③ 2는 tt인데 (다)에 대해서 병이므로, (다)는 열성 형질이다. 5는 (나)에 대해서 정상이라서 R를 갖는다. 남자인 5가 R와 r를 모두 가지므로, (나)는 열성 일반 유전이다. 자동으로 (다)는 열성 X 염색체 반성 유전이 된다. 이를 이용해서 DNA 상대량 표 재배치를 마무리하면 다음과 같다.

	2(여)	3(남)	5(남)	7(남)	8(여)
H	0	0	0	1	0
r	1	0	1	0	1
R	1	2	1	2	1
t	2	0	1	0	1

ㄱ. (다)의 유전자는 X 염색체에 있다. (○)

ㄴ. 표를 참고하면 3은 $\frac{h}{R}||\frac{h}{R}$, TY이고, 7은 $\frac{H}{R}||\frac{h}{R}$, TY이며, 8은 $\frac{h}{R}||\frac{h}{R}$, Tt이므로, 4는 $\frac{H}{R}||\frac{h}{R}$, Tt이다. 따라서 4의 (가)~(다)의 유전자형은 모두 이형 접합성이다. (○)

ㄷ. 표를 참고하면 2와 5는 모두 $\frac{H}{r}||\frac{h}{r}$ 이다. 1은 (가)와 (나)에 대해서 모두 병이므로 $\frac{H}{r}||\frac{h}{r}$ 이다. 따라서 (가)와 (나) 중 (가)에 대해서만 병인 6은 $\frac{H}{r}||\frac{h}{R}$ 이다. 또한 4가 Tt인데, 4와 6의 (다)의 유전자형은 서로 같으므로, 6도 Tt이다. 7은 $\frac{H}{R}||\frac{h}{R}$, TY이다. 따라서 6과 7 사이에서 태어난 아이의 (가)와 (나)의 표현형이 6과 같은 '병, 정상일 확률은 3/4이고, (다)의 표현형이 6과 같은 정상일 확률도 3/4이다. 즉 구하는 확률은 두 확률을 곱한 9/16이다. (x)

9. 2025학년도 수능 19번 (답: ㄱ)

① (가)에 대해서 4(딸)는 병인데 1(아빠)는 정상이므로 (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다.

② 2가 B를 가지므로, (나)는 열성 형질이다. 따라서 4는 bb이고, 3이 bb이므로 5는 Bb이다. 즉 ㉡은 0이고, ㉢은 1이다. 자동으로 ㉠은 2가 된다. ㉠이 2이므로 5는 aa이다. 따라서 (가)는 우성 형질이다.

③ 1은 (나)에 대해서 병이므로 B와 b 중 b만 가지고, ②는 표에 의해 bb이다. 따라서 ③도 B와 b 중 b만 갖는다. 즉 ②와 ③는 각각 '(나)만 발현된 사람'과 '(가)와 (나)가 모두 발현된 사람' 중 하나이다. 즉 ㉢은 '(가)만 발현된 사람'인데, 이때 (가)에 대해서 ㉣(아빠)는 병인데 6(딸)은 정상이므로 (가)는 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. 따라서 (가)는 우성 일반 유전이다. 자동으로 (나)는 열성 일반 유전이 된다. ((나)에 대해서 3(엄마)는 병인데 ㉣(아들)는 정상이므로 (나)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니라서, (나)는 열성 일반 유전이고, (가)는 우성 일반 유전이 된다고 구해도 된다.)

④ 만약 ②가 '(나)만 발현된 사람'이라면 (가)에 대해서 1과 ②(부모)는 정상인데 4(자손)는 병이 되어서, 즉 (가)가 열성 형질이 되어서, 모순이다. 따라서 ②가 '(가)와 (나)가 모두 발현된 사람'이고, ③가 '(나)만 발현된 사람'이다.

ㄱ. (가)는 우성 형질이다. (○)

ㄴ. 이 가계도 구성원 중 체세포 1개당 b의 DNA 상대량이 ㉢(2)인 사람은 (나)에 대해서 병인 1, 3, 4, ②, ③로, 5명이다. (x)

ㄷ. ③는 $\frac{a}{B}||\frac{a}{B}$ 이다. 따라서 6은 $\frac{a}{B}||\frac{a}{B}$ 이므로, ㉢은 $\frac{a}{B}$ 를 갖는다. ㉢은 (가)가 발현되어서 A를 갖고, 3이 bb여서 b도 가지므로 ㉢은 $\frac{A}{b}||\frac{a}{B}$ 이다. 따라서 ③와 ㉢ 사이에서 (가)와 (나)가 모두 발현된 아이가 태어날 확률은, ㉢이 $\frac{A}{b}$ 를 물려줄 확률과 같은 1/2이다. (x)

6. 돌연변이

1. 2024년 3월 교육청 모의고사 20번 (답: L)

① 아버지는 AB형이고, (가)의 표현형이 (3)이므로 $A||R, B||R, TY$ 이다.

② 아버지가 AB형이고 어머니가 B형인데 아들이 0형이므로, 어머니는 B0이고, 어머니에게서 감수 2분열 비분리가 일어나서 0가 있는 9번 염색체를 아들에게 2개 준 것이다.

③ 그런데 이 0와 연관된 유전자가 r이면 아들의 (가)의 표현형이 (2)가 될 수 없으므로, 이 0와 연관된 유전자는 R이다. 이때 어머니의 (가)의 표현형은 (1)이므로 어머니는 $B||R, tt$ 이고, 아들의 (가)의 표현형은 (2)이므로 아들은 $R||R, tY$ 이다.

가. ㉠의 감수 2분열에서 염색체 비분리가 발생했다. (x)

나. 어머니에서 (가)의 유전자형은 Rrtt이다. (○)

다. 아버지는 (가)에 대해서 1|1, 1|0 이고, 어머니는 (가)에 대해서 1|0, 0|0 이다. 따라서 아버지와 어머니 사이에서 (가)의 표현형이 아버지와 같은 (3)인 아이가 태어날 확률은 ${}_2C_2/2^2$, 즉 1/4이다. (x)

2. 2024년 5월 교육청 모의고사 15번 (답: L)

① 아버지가 $H||t, Rr$ 인데, 아버지와 어머니 사이에서 $H||H, rr$ 인 아이가 나올 수 있으므로 어머니는 $|H||t$ 와 r를 갖는다. 그런데 어머니의 (가)의 표현형은 (3)이므로, 어머니는 $H||t, Rr$ 이다.

② $H||H, rr$ 인 아이가 태어날 확률이 1/8인데, rr인 아이가 태어날 확률은 1/4이므로, $H||H$ 인 아이가 태어날 확률이 1/2이다. 따라서 어머니는 $H||t, Rr$ 이다. 어머니에게서 (나)가 발현되었으므로, (나)는 열성 형질이다.

③ 자녀 3은 (나)가 발현되지 않았으므로, 자녀 3이 정상이라면 아버지에게 $H||t$, 어머니에게 $|H||t$ 를 반드시 물려받아야 한다. 이 경우 자녀 3의 (가)의 표현형이 (1)이 될 수 없으므로, ㉠는 자녀 3이다. 자녀 3의 (가)의 표현형이 (1)이 되려면 아버지의 H가 결실되어서 자녀 3이 $T||t, rr$ 이 되어야 한다. 즉 ㉡는 H이다.

가. (나)는 열성 형질이다. (x)

나. ㉡는 H이다. (○)

다. 자녀 2는 (나)가 발현되지 않았으므로, 아버지에게 $H||t$, 어머니에게 $|H||t$ 를 물려받는다. 그런데 자녀 2의 (가)의 표현형은 (2)이므로, 자녀 2는 rr이다. 즉 자녀 2는 R를 갖지 않는다. (x)

3. 2024년 7월 교육청 모의고사 13번 (답: 가)

① 치환 돌연변이는 (가)에서 일어났으므로, 이 가족 구성원은 모두 (나)에 대해서 정상이다. 즉 자손 중에서 BbDD인 사람이 있으므로, 부모 중 한 명은 B와 D를 갖고, 나머지 한 명은 b와 D를 갖는다.

② 아버지, 어머니, 자녀 1, 자녀 2가 모두 (나)의 표현형이 다른데, 표현형이 (4)인 사람과 (0)인 사람이 모두 존재할 수는 없다. (4)-(0)은 부모-자손 관계가 될 수 없는데, 부모가 (4)-(0)이면 자손이 모두 (2)이고, 자손이 (4)-(0)이면 부모가 모두 (2)이기 때문이다. (4)-(1), (3)-(0)도 부모-자손 관계가 될 수 없다는 것을 고려하면, 만약 이 가족 구성원 중 표현형이 (4)인 사람이 있다면 부모와 자손(자녀 1, 2)이 각각 (4)-(1)과 (3)-(2) 중 하나가 되어야 하고, 이 가족 구성원 중 표현형이 (0)인 사람이 있다면 부모와 자손(자녀 1, 2)이 각각 (3)-(0)과 (2)-(1) 중 하나가 되어야 한다.

③ 아버지와 자녀 3의 표현형이 같은데, 부모가 (4)-(1)이면 자손의 표현형으로 (4)와 (1)이 모두 나올 수 없으므로 부모가 (4)-(1)이고 자손이 (3)-(2)일 수는 없다. 부모가 모두 D를 가지므로 부모가 (3)-(0)이고 자손이 (2)-(1)이 될 수는 없다. 부모가 (2)-(1)이고 자손(자녀 1, 2)이 (3)-(0)인 경우, 자손에 (0)이 있어서 어머니와 자녀 2는 모두 Dd가 되고, 따라서 BbDD인 자손, 즉 표현형이 (3)인 자손이 자녀 3이 된다. 이 경우 아버지와 자녀 3의 표현형이 같지 않으므로, 부모가 (3)-(2)이고 자손(자녀 1, 2)이 (4)-(1)이다. 따라서 $A||B, DD$ 인 사람은 자녀 3이다. 즉 (가)는 우성 형질이고, ㉠는 (3)이다. 자동으로 ㉡는 (2)가 된다.

④ 아버지는 aa이므로, 자녀 3이 태어날 때 a가 A로 치환되었다. 즉 ㉠은 a이고, ㉡는 A이다. 따라서 아버지는 $a||b$ 를 갖고, 어머니는 $|b||b$ 를 갖는다. 자녀 1과 자녀 2 중 한 명이 (4)이므로 어머니는 B를 갖는다. 따라서 어머니는 $B||b, Dd$ 이므로, 자녀 2도 Dd이다. 자녀 2가 Dd이므로 ㉢는 (4)이고, ㉣는 (1)이다. 따라서 자녀 1이 $a||b, DD$ 이고 자녀 2가 $a||b, Dd$ 이므로, 아버지는 $a||b, DD$ 이고 어머니는 $a||b, Dd$ 이다.

가. ㉠은 a이다. (○)

나. (가)는 우성 형질이다. (x)

다. 어머니는 A를 갖지 않는다. (x)

4. 2024년 10월 교육청 모의고사 17번 (답: L C)

- ① (가)에 대해서 어머니가 병인데 자녀 1(아들)은 정상이므로, (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다.
- ② 아버지에서 A+B가 0이므로 아버지는 a와 b만 갖는데, 아버지는 (나)에 대해서 정상이므로, (나)는 우성 형질이다. 자녀 3은 A+B가 3이고 핵형이 정상이므로 A와 B를 모두 갖는데, 자녀 3은 (가)에 대해서 병이므로, (가)는 우성 형질이다.
- ③ A+B가 0인 아버지로부터 A+B가 3인 자녀 3이 태어났으므로, 자녀 3이 태어날 때 아버지에서 치환이 일어났다. 따라서 자녀 2가 태어날 때 어머니에서 비분리가 일어났다. 이때 자녀 2는 터너 증후군이므로, 아버지로부터만 X 염색체를 받았다. 자녀 2는 (나)에 대해서 병이므로 B를 갖는데, 아버지는 B를 갖지 않으므로 (나)의 유전자는 상염색체에 있다. 즉 (가)는 우성 X 염색체 반성 유전이고, (나)는 우성 일반 유전이다.
- ④ 아버지는 aY, bb이고, 자녀 1이 aY이고 어머니에서 A+B가 2이므로 어머니는 Aa, Bb이다. 자녀 3은 AY, BB이므로, 자녀 3이 태어날 때 아버지의 b가 B로 치환되었다. 즉 ㉠은 b이고, ㉡은 B이다.

- 가. (가)의 유전자는 X 염색체에 있다. (x)
- 나. ㉡은 B이다. (○)
- 다. 아버지가 bb이므로 자녀 1은 aY, Bb이다. 따라서 자녀 1의 체세포 1개당 a와 b의 DNA 상대량을 더한 값은 2이다. (○)

5. 2025학년도 6월 평가원 모의고사 17번 (답: L)

- ① (가)에 대해서 부모는 모두 병인데 자녀 2(또는 자녀 3, 자녀 4)는 정상이고, 아버지는 병인데 자녀 2(딸)은 정상이므로 (가)는 우성 일반 유전이다. (나)에 대해서 어머니는 병인데 자녀 3(아들)은 정상이므로 (나)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다.
- ② (가)의 유전자형은 자녀 2와 자녀 3이 모두 hh이고, 부모는 모두 Hh이다. 즉 자녀 2와 자녀 3은 부모로부터 동일한 13번 염색체를 물려받았는데, 자녀 2와 자녀 3의 (다)의 표현형이 서로 다르므로, (나)가 일반 유전이고, (다)가 X 염색체 반성 유전이다.
- ③ 자녀 4가 태어날 때는 13번 염색체 비분리가 일어났으므로, (다)에 대해서는 정상적인 논리를 활용할 수 있다. (다)에 대해서 자녀 4(딸)은 병인데 아버지는 정상이므로, (다)는 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다. 따라서 (다)는 우성 X 염색체 반성 유전이고, (가)~(다) 중 2개는 우성 형질이고 1개는 열성 형질이므로, (나)는 열성 일반 유전이다.

④ 어머니는 $\frac{H}{r}||\frac{h}{r}$ 이고, 어머니가 rr이므로 자녀 2와 자녀 3은 모두 $\frac{h}{r}||\frac{h}{r}$ 이다. 따라서 아버지는 $\frac{h}{R}$ 를 갖는다. 자녀 1이 rr이므로 아버지는 $\frac{H}{r}||\frac{h}{R}$ 이다. 자녀 4는 $\frac{h}{r}||\frac{h}{r}$ 이므로, 자녀 4가 태어날 때 어머니에게서 감수 2분열 비분리가 일어나서 자녀 4에게 $\frac{h}{r}$ 를 2개 물려주었다.

- 가. (나)는 열성 형질이다. (x)
- 나. 아버지는 $\frac{H}{r}||\frac{h}{R}$, tY이다. 따라서 아버지에게서 h, R, t를 모두 갖는 정자가 형성될 수 있다. (○)
- 다. ㉡은 감수 2분열에서 염색체 비분리가 일어나 형성된 난자이다. (x)

6. 2025학년도 9월 평가원 모의고사 15번 (답: L C)

- ① 아버지는 A, b, d를 각각 1개씩 갖고, 어머니는 aaBbDd이다. 자녀 3은 어머니로부터 a를 받아야 하므로 Aa, dd인데, (가)~(다) 중 2개가 X 염색체에 있으므로 자녀 3은 여자이다. 즉 자녀 3은 AaBbDd이다. 따라서 아버지도 B를 갖는다. 아버지가 B와 b를 모두 가지므로 (나)의 유전자는 상염색체에 있다. 자동으로 (가)와 (다)의 유전자가 X 염색체에 있게 된다.
- ② 아버지는 $\frac{A}{d}||Y$, Bb이고, 어머니는 $\frac{a}{b}||\frac{a}{d}$, Bb이며, 자녀 3은 $\frac{A}{d}||\frac{a}{d}$, BB이다. 자녀 1은 d를 갖지 않으므로 $\frac{a}{b}||Y$, Bb이고, 자녀 2는 A를 갖지 않고 d를 가지므로 $\frac{a}{d}||Y$, Bb이다.
- ③ 자녀 4는 bbb인데, 치환을 통해서 b를 3개 가질 수는 없으므로, 자녀 4가 bbb인 것은 비분리 때문이다. 또한 어머니가 aa인데도 자녀 4는 A가 2개인데, 비분리는 상염색체에서 일어났으므로 자녀 4가 A가 2개인 것은 어머니의 생식 세포 형성 과정에서 a가 A로 바뀌는 돌연변이가 일어났기 때문이다. 즉 ㉠은 a이고, ㉡은 A이다. 따라서 자녀 4는 어머니로부터 치환에 의해 $\frac{A}{d}$ 를 받고, 아버지로부터 감수 2분열 비분리에 의해 b를 2개 받은 $\frac{A}{d}||\frac{A}{d}$, bbb이다.

- 가. 자녀 1~3 중 여자는 자녀 3뿐이다. 즉 자녀 1~3 중 여자는 1명이다. (x)
- 나. Q는 어머니에게서 형성되었다. (○)
- 다. 자녀 3은 $\frac{A}{d}||\frac{a}{d}$, BB 이므로, 자녀 3에게서 A, B, d를 모두 갖는 생식 세포가 형성될 수 있다. (○)

7. 2025학년도 수능 17번 (답: L)

- ① Ⓐ는 여자이므로 AabbDd이고, Ⓒ은 여자이므로 AaBbDd이다. Ⓔ(남자)에서 B가 2이고 Ⓖ(남자)에서 B가 0인데, 비분리는 어머니에게서 일어났으므로(또는 비분리는 상염색체에서 일어났으므로) Ⓒ이 아버지가 될 수는 없다. 따라서 Ⓒ은 아들이다.
- ② Ⓒ(아들)에서 B가 2이므로, Ⓒ이 정상 자녀이든 돌연변이 자녀이든, 어머니는 B를 가져야 한다. 따라서 Ⓐ은 딸이고, Ⓒ은 어머니이다. 이때 정상 딸인 Ⓐ이 bb이므로 아버지는 b를 갖는다. 또한 Ⓔ~Ⓖ 중 하나가 아버지인데, Ⓔ~Ⓖ 모두 D가 1이므로, 아버지는 D를 1개만 갖는다.
- ③ 비분리는 어머니에게서 일어났으므로, 클라인펠터 증후군인 자녀 4는 어머니로부터만 X 염색체를 2개 물려받는다. 그런데 어머니(Ⓒ)는 AaBbDd이고, Ⓒ에서 a, B, D가 각각 1, 2, 0이므로, Ⓒ이 자녀 4라면 어머니(Ⓒ)는 $\frac{B}{a}||\frac{b}{D}$, 자녀 4(Ⓒ)는 $\frac{B}{a}||\frac{B}{a}||Y$ 가 될 수밖에 없다. 이 경우 Ⓔ~Ⓖ 중 2명은 정상 아들인데, Ⓔ과 Ⓖ이 모두 $\frac{b}{D}||Y$ 가 되므로 모순이다. 따라서 Ⓒ은 정상 아들인데, Ⓒ에서 B가 2이므로 B/b는 상염색체에 있다. 자동으로 A/a와 D/d가 X 염색체에 있게 된다.

④ 표에 의해 Ⓒ(정상 아들)이 $\frac{a}{D}||Y$, BB이므로, Ⓒ(어머니)은 $\frac{A}{B}||\frac{a}{D}$, Bb가 되고, 아버지는 B를 갖는다. Ⓒ(어머니)이 $\frac{A}{B}||\frac{a}{D}$ 이므로 Ⓐ(정상 딸)은 $\frac{A}{B}||\frac{a}{D}$, bb가 되고, 아버지는 D를 가지므로 $\frac{A}{B}||Y$, Bb가 된다. 따라서 아버지는 Ⓔ이다.

⑤ Ⓒ(어머니)이 $\frac{A}{B}||\frac{a}{D}$ 이고, 자녀 4는 어머니로부터만 X 염색체를 2개 물려받는데, Ⓒ은 a와 D가 모두 1이고 Ⓖ은 a가 0이고 D가 1이므로, Ⓒ이 자녀 4이고, Ⓒ은 감수 1분열 비분리를 통해 어머니로부터 $\frac{A}{B}$ 와 $\frac{a}{D}$ 를 모두 물려받은 $\frac{A}{B}||\frac{a}{D}||Y$, Bb이다. 자동으로 Ⓒ은 정상 아들이 된다.

ㄱ. Ⓒ은 자녀 4이다. (x)

ㄴ. 염색체 비분리는 감수 1분열에서 일어났다. (○)

ㄷ. Ⓐ(정상 딸)은 $\frac{A}{B}||\frac{a}{D}$, bb이다. 따라서 Ⓐ에게서 a, b, D를 모두 갖는 생식 세포는 형성될 수 없다. (x)

