

‘사고 과정을 담은’ 돌연변이 기출 모음집 해설지

- 경우에 따라서는 여러분의 풀이 또는 답지의 풀이가 더 우수할 수 있으나, 여러 가지 풀이를 보고 익히는 것, 그리고 제 풀이에서 문제 풀이 논리의 일부를 체화하는 것만으로도 도움이 되기에, 가능하면 꼼꼼히 살펴보며 많은 것을 배워 가셨으면 좋겠습니다.
- 만약 본인의 풀이가 더 괜찮은 것 같다고 생각되는 경우, 혹은 본인의 풀이도 괜찮은지 궁금한 경우 등은 제게 피드백을 부탁하면 꼼꼼히 해 드리겠습니다.
- 문제의 조건을 반드시 숙지한 후 해설을 보세요. 문제 조건을 정확히 숙지했다는 전제 하에 해설을 씁니다.

6. 돌연변이 - ① 돌연변이 ~ ④ 비분리	1번	2번		
	ㄱ	ㄱ L		
	3번	4번	5번	6번
	L	L	L C	ㄱ
	7번			
	L			

6. 돌연변이 - ⑤ 비분리와 세포 분열 <유전자와 DNA 상대량>	1번	2번		
	L C	ㄱ C		
	3번	4번	5번	
	C	L	L	
	6번	7번	8번	9번
	L C	L C	L C	ㄱ

6. 돌연변이 - ⑥ 비분리와 세포 분열 <유전자와 DNA 상대량의 합>	1번			
	ㄱ C			

6. 돌연변이 - ⑦ 비분리와 유전	1번	2번		
	ㄱ L	C		
	3번	4번		
	ㄱ	ㄱ		
	5번	6번	7번	8번
	L C	L	ㄱ L	L
	9번	10번	11번	
	ㄱ C	L C	ㄱ L C	
	12번	13번		
	ㄱ C	ㄱ L		
	14번	15번	16번	
	ㄱ	ㄱ L	ㄱ L C	
	17번	18번		
	L	ㄱ		
	19번	20번		
	ㄱ C	ㄱ		
21번	22번	23번		
ㄱ L C	ㄱ L C	ㄱ		

	24번	25번		
	ㄱ ㄷ	ㄱ ㄴ		

6. 돌연변이 - ㉘ 구조 이상과 세포 분열 ~ ㉙ 구조 이상과 유전	1번			
	ㄴ			
	2번	3번		
	ㄴ ㄷ	ㄴ		
	4번	5번		
	ㄱ ㄷ	ㄱ		
	6번	7번	8번	
ㄱ	ㄱ ㄷ	ㄱ ㄷ		

6. 돌연변이 - ㉚ 치환과 세포 분열 ~ ㉛ 치환과 유전	1번	2번		
	ㄱ ㄷ	ㄴ ㄷ		
	3번	4번		
	ㄴ ㄷ	ㄱ		

6. 돌연변이 - ㉘ 돌연변이 ~ ㉚ 비분리

[Part 1]

1. 2015년 3월 교육청 모의고사 15번 (답: ㄱ)

① ㉘의 핵상이 $n+1$ 이고 ㉙의 핵상이 $n-1$ 이므로, 비분리는 왼쪽 감수 2분열에서 일어났다. 이때 ㉘과 ㉙은 모두 X 염색체를 가지므로 비분리는 상염색체에서 일어났고, 이때 이 상염색체는 왼쪽으로 물렸다.

ㄱ. 감수 2분열에서 염색체 비분리가 일어났다. (○)
 ㄴ. ㉘은 정상보다 상염색체를 하나 더 가지므로, ㉘의 상염색체 수는 23이다. (x)
 ㄷ. ㉙은 정상 세포이므로, ㉙과 정상 난자가 수정되어 태어난 아이는 터너 증후군을 나타내지 않는다. (x)

2. 2015년 7월 교육청 모의고사 8번 (답: ㄱ ㄴ)

① ㉘에 성염색체가 없으므로, 오른쪽 세포 분열 과정의 감수 1분열에서 성염색체 비분리가 일어나서 성염색체가 왼쪽으로 물렸다. 이때 ㉙의 21번 염색체는 정상이므로, 이 사람은 A, B, D가 연관된 21번 염색체를 가진다는 것을 알 수 있다.
 ② ㉘에서 21번 염색체 유전자인 D가 X 염색체에 있으므로, 왼쪽 세포 분열 과정에서 전좌가 일어났다. 이때 전좌가 일어난 부분을 관찰하면, 원래 이 사람은 A, b, D가 연관된 21번 염색체를 가진다는 것을 알 수 있다. 즉 이 사람은 (ABD)/(AbD) 이다.

ㄱ. 이 사람은 (ABD)/(AbD)이므로, ㉘에는 a가 없다.

(○)
 ㄴ. ㉘이 형성되는 감수 분열 과정에서 전좌가 일어났다. (○)
 ㄷ. ㉙은 21번 염색체를 1개 가지고 성염색체를 가지지 않으므로, ㉙이 정상 난자와 수정되어 태어난 아이는 다운 증후군이 아니라 터너 증후군을 나타낸다. (x)

3. 2016년 10월 교육청 모의고사 10번 (답: ㄴ)

① (가)에서 감수 1분열을 기준으로 왼쪽 방향에 핵상이 $n+1$ 인 세포가 있고 오른쪽 방향에 핵상이 $n-1$ 인 세포가 있으므로, 비분리는 감수 1분열에서 일어나서 성염색체가 왼쪽으로 물렸다.
 ② (나)와 (다)에는 핵상이 n 인 세포가 있으므로 (나)와 (다)에서는 감수 2분열 비분리가 일어났다. (나)에서는 오른쪽 감수 2분열에서 왼쪽으로 성염색체가 물리는, (다)에서는 왼쪽 감수 2분열에서 왼쪽으로 성염색체가 물리는 비분리가 일어났다.

7. (가)에서는 감수 1분열 비분리, 즉 상동 염색체의 비분리가 일어났지만, (나)에서는 감수 2분열 비분리, 즉 염색 분체의 비분리가 일어났다. (x)

나. 비분리는 성염색체에서만 일어났으므로, ㉠과 ㉡의 상염색체 수는 같다. 또한 ㉠과 ㉡ 모두 성염색체를 정상보다 하나 더 가지므로, ㉠과 ㉡의 성염색체 수도 같다. 따라서 구하는 분수 값도 같다. (○)

다. ㉡은 정상 난자이므로 X 염색체를 하나 갖는다. ㉡은 감수 2분열에서 비분리가 일어나서 성염색체를 정상보다 하나 더 갖는 정자이므로, 성염색체가 XX 또는 YY이다. 즉 ㉠과 ㉡이 수정되어 태어난 아이의 성염색체는 XXX 또는 XYY이기 때문에, 이 아이는 클라인펠터 증후군을 나타내지 않는다. (x)

4. 2017년 7월 교육청 모의고사 11번 (답: 나)

① (가)와 (나)에서 비분리는 각각 1회씩만 일어났는데, ㉠, ㉡, ㉢의 염색체 수를 모두 합한 값이 $3n+3$ 과 같은 72이므로, ㉠, ㉡, ㉢은 모두 핵상이 $n+1$ 로, 염색체를 24개 갖는다.

② ㉠과 ㉢의 핵상이 모두 $n+1$ 이므로, (나)에서 비분리는 감수 1분열에서 일어나서 성염색체가 오른쪽으로 물렸다. 이때 ㉠의 핵상은 $n-1$ 이 되는데, ㉠과 ㉡의 염색체 수는 같으므로 ㉡의 핵상도 $n-1$ 이다. ㉡의 핵상은 $n-1$ 이고 ㉢의 핵상은 $n+1$ 이므로, (가)에서 비분리는 왼쪽의 감수 2분열에서 일어나서 성염색체가 오른쪽으로 물렸다.

7. ㉠은 Y 염색체를 가지는 정상 $n(2)$ 이고, ㉡은 성염색체를 갖지 않는 $n(2)$ 이므로, ㉠이 가지는 Y 염색체의 DNA 양만큼 ㉠이 ㉡보다 DNA 양이 더 많다는 것까지만 알 수 있고, DNA 양이 ㉠이 ㉡의 2배인지 아닌지는 알 수 없다. (x)

나. (가)에서 감수 2분열 비분리, 즉 염색 분체의 비분리가 일어났다. (○)

다. 정상 세포인 ㉠에 Y 염색체가 있으므로 ㉡의 성염색체는 YY이다. 즉 ㉡이 분화되어 생성된 정자와 정상 난자가 수정하여 태어난 아이는 성염색체가 XYY로, 클라인펠터 증후군이 아니라 초남성 증후군을 나타낸다. (x)

5. 2019년 3월 교육청 모의고사 9번 (답: 나)

① ㉠~㉢ 각각의 염색체 수가 서로 다르려면, 위쪽 감수 2분열에서 비분리가 일어나야 한다. 즉 ㉡은 정상 세포이므로, ㉡의 총 염색체 수는 3이다. 따라서 ㉠의 X 염색체 수가 2가 되어야 하므로, 비분리가 일어난 염색체는 X 염색체이고, 이때 이 X 염색체는 아래쪽으로 물렸다.

7. 성염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (x)

나. ㉠은 정상보다 성염색체를 하나 덜 가지므로, ㉠의 총 염색체 수는 2이다. (○)

다. 감수 1분열에서 X 염색체가 위쪽으로, Y 염색체가 아래쪽으로 이동했으므로, 정상 세포인 ㉡에서 Y 염색체 수는 1이다. (○)

6. 2019년 10월 교육청 모의고사 16번 (답: 가)

① II가 III보다 총 염색체 수가 많으므로, 감수 2분열 비분리는 왼쪽의 감수 2분열에서 일어났고, 이때 비분리가 일어난 염색체는 왼쪽으로 물렸다. 또한 I의 총 염색체 수는 II, III보다 적으므로, 감수 1분열에서 비분리가 일어난 염색체는 왼쪽으로 물렸다. 즉 총 염색체 수는 II가 5, III이 3, I이 2이다.

② II와 III의 X 염색체 수는 I보다 많으므로, II와 III은 X 염색체를 갖는다. 그런데 III에 Y 염색체가 있으므로, 감수 1분열에서는 성염색체 비분리가 일어났다. 이때 II와 III의 X 염색체 수가 같으므로 감수 2분열에서 X 염색체 비분리가 일어난 것이 아니고, 비분리가 일어난 염색체는 왼쪽 감수 2분열에서 왼쪽으로 물렸는데 오른쪽의 III이 Y 염색체를 가지므로 감수 2분열에서 Y 염색체 비분리가 일어난 것도 아니다. 따라서 감수 2분열에서는 상염색체 비분리가 일어났다.

7. I의 상염색체 수는 정상이므로 I의 상염색체 수는 2이고, II는 정상보다 성염색체를 하나 더 가지므로 II의 성염색체 수는 2이다. 따라서 I의 상염색체 수와 II의 성염색체 수의 합은 4이다. (○)

나. 감수 1분열에서 성염색체 비분리가 일어났다. (x)

다. 총 염색체 수는 II가 5, III이 3이다. 또한 II와 III의 성염색체는 모두 XY이므로 II와 III의 X 염색체 수는 모두 1이다. 따라서 구하는 분수 값은 II가 $1/5$, III이 $1/3$ 로, II가 III보다 작다. (x)

[Part 2]

7. 2018학년도 6월 평가원 모의고사 13번 (답: L)

① ㉔는 총 염색체 수가 25, 즉 핵상이 $n+2$ 이다. 따라서 ㉔는 '+1' 비분리가 두 번 일어난 세포이다. ㉔는 X 염색체를 갖지 않으므로 여자의 세포일 수 없다. 또한 ㉔가 IV라면 남자의 오른쪽 감수 2분열에서 비분리가 일어났다는 의미이므로, I과 III의 총 염색체 수와 X 염색체 수는 모두 같아야 하는데, 표에서 총 염색체 수와 X 염색체 수가 모두 같은 세포는 없으므로 ㉔는 IV일 수 없다. 따라서 ㉔는 III이다.

② ㉔가 III이므로 남자의 감수 1분열에서 7번 염색체는 왼쪽의 I로 물렸고, 남자의 왼쪽 감수 2분열에서 상염색체는 왼쪽의 III(㉔)으로 물렸다. 그런데 III(㉔)은 X 염색체를 갖지 않으므로, 남자에서 I은 Y 염색체, 반대쪽 n(2)는 X 염색체를 가지며, III(㉔)은 Y 염색체를 2개 가진다. 즉 I은 총 염색체 수가 24이고 X 염색체 수가 0이므로 ㉔이고, IV는 총 염색체 수가 22이고 X 염색체 수가 1이므로 ㉓이다.

③ 남은 ㉔와 ㉔는 여자의 세포인데, ㉔의 X 염색체 수는 2인데 상염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났으므로 ㉔는 V이고, 남은 ㉔는 II이다. ㉔(II)의 총 염색체 수는 24이므로 여자의 감수 1분열에서 21번 염색체는 왼쪽의 II(㉔)로 물렸고, ㉔(V)의 X 염색체 수는 2이므로 여자의 오른쪽 감수 2분열에서 X 염색체는 왼쪽의 V(㉔)로 물렸다. 즉, V(㉔)는 정상보다 21번 염색체를 하나 덜 가지고, X 염색체를 정상보다 하나 더 가지므로 V(㉔)의 총 염색체 수는 23이다. 즉 ㉔은 23이다.

ㄱ. ㉔은 23이다. (x)

ㄴ. III(㉔)의 Y 염색체 수는 2이다. (○)

ㄷ. 남자의 감수 1분열에서 7번 염색체는 왼쪽의 I(㉔)로 물렸으므로, IV(㉓)에는 7번 염색체가 없다. (x)

6. 돌연변이 - ㉔ 비분리와 세포 분열 <유전자와 DNA 상대량>

[Part 1]

1. 2014년 10월 교육청 모의고사 9번 (답: L C)

① ㉔는 E가 0인데 ㉓, ㉔, ㉔는 E가 0이 아니고, ㉓와 ㉔는 e가 0인데 ㉔와 ㉔는 e가 0이 아니므로, ㉓, ㉔, ㉔는 모두 $2n(2)$ 인 ㉔이 될 수 없다. 따라서 ㉔가 ㉔이다.

② $2n(2)$ 인 ㉔(㉔)에서 E와 e가 모두 1이므로, E와 e는 각각 $n(2)$, $n(1)$ 에서 두 방향 중 한 방향에만 존재할 수 있다. 그런데 ㉓와 ㉔에 모두 E가 있으므로, ㉓와 ㉔는 각각 L과 C 중 하나이고, 남은 ㉔는 ㉔이다. 또한 ㉓에는 1이 있으므로 ㉓는 $n(1)$ 인 C이고, 남은 ㉔는 L이다.

③ [E, e]가 ㉔(㉔)에서 [1, 1]인데 ㉔(㉔)에서 [0, 2]이므로, 비분리는 아래쪽의 감수 2분열에서 일어나서 21번 염색체가 아래쪽으로 물렸다.

ㄱ. (가)에서 감수 2분열 비분리, 즉 염색 분체의 비분리가 일어났다. (x)

ㄴ. 염색체 수는 ㉔(㉔)가 24, ㉔(L)가 23으로, ㉔가 ㉔보다 많다. (○)

ㄷ. ㉔(㉔)은 21번 염색체를 2개 가지므로, ㉔과 정상 남자가 수정되어 아이가 태어날 때, 이 아이는 다운 증후군을 나타낸다. (○)

2. 2016학년도 수능 12번 (답: ㄱ ㄷ)

① C과 ㉔는 모두 1이 있으므로 $2n(2)$ 인 I과 $n(1)$ 인 IV 중 하나인데, C에서 H가 1이고 ㉔에서 H가 0이므로 C이 $2n(2)$ 인 I이고 ㉔이 $n(1)$ 인 IV이다.

② L은 염색체 수가 6이어서 핵상이 $2n$ 이므로 $2n(4)$ 인 II이다. 남은 ㉔는 $n(2)$ 인 III이 된다.

③ DNA 상대량은 $2n(4)$ 인 L(II)이 $2n(2)$ 인 C(I)의 2배이므로, ㉔는 0, C는 2, ㉔는 1이다. 또한 수컷의 $2n(2)$ 인 C(I)에서 H와 h의 합은 2이고 T와 t의 합은 1이므로 H와 h는 상염색체 유전자이고, T와 t는 상염색체 유전자이다.

④ ㉔(IV)에서 상염색체 유전자인 H와 h가 모두 0이므로, 상염색체 비분리는 오른쪽 감수 2분열에서 일어났고, 이때 그 상염색체는 왼쪽으로 물렸다. 또한 ㉔(IV)의 염색체 수가 3이므로(또는 ㉔(IV)에 상염색체 유전자가 있으므로) 감수 1분열에서 상염색체는 오른쪽으로 물렸다. 즉 ㉔(III)은 정상보다 상염색체를 하나 덜 가지므로, ㉔는 2이다.

ㄱ. ㉔+㉔는 2이고, ㉓+㉔는 3이다. 따라서 ㉔+㉔보다 ㉓+㉔가 크다. (○)

ㄴ. C은 I이다. (x)

ㄷ. ㉔(IV)은 감수 1분열에서 상염색체를 정상보다 하나 더 받은 오른쪽의 $n(2)$ 에서 분열된 세포이므로, X 염색체와 Y 염색체를 모두 가지고 있다. (○)

3. 2017학년도 6월 평가원 모의고사 12번 (답: C)

- ① II은 핵상이 2n이고, 1이 있으므로 2n(2)인 ㉠이다.
- ② 감수 1분열에서만 비분리가 1회 일어난 경우, 핵상이 n인 세포는 존재할 수 없다. 그런데 핵상이 n인 세포인 III이 존재하므로, 비분리는 감수 2분열에서 일어났다.
- ③ ㉠~㉢ 중 핵상이 n+1인 세포가 존재해야 하므로 비분리는 왼쪽 감수 2분열에서 일어났고, 이때 그 염색체는 왼쪽의 ㉡으로 물렸다. 즉 I은 ㉡이고, III은 ㉢이며, 남은 IV는 ㉠이다.
- ④ DNA 상대량은 2n(4)인 IV(㉠)가 2n(2)인 II(㉠)의 2배이므로 ㉡는 2이다. 또한 I(㉡)에 B가 존재하므로 III(㉢)에도 B가 존재해야 해서, ㉢는 2이다.

ㄱ. ㉡+㉢=4 이다. (x)

ㄴ. I은 ㉡이다. (x)

ㄷ. IV(㉠)는 2n(4)이고, 문제에서 ㉠은 중기의 세포라고 했으므로 IV에는 2가 염색체가 있다. (○)

4. 2017학년도 수능 8번 (답: L)

- ① ㉡에 존재하는 염색체는 2개로, 핵상이 n-1이다. 그런데 ㉡은 B/b와 F/f를 갖지 않는다. 따라서 ㉡은 B/b와 F/f가 연관되어 있는 염색체를 비분리에 의해 갖지 않는 세포이다.
- ② 이 동물 개체는 $\frac{B}{F} || \frac{B}{f}$ 이므로 ㉠에서 F는 2이다. 그런데 ㉠에서도 F는 2이고, ㉡의 핵상은 n-1이므로, 비분리는 오른쪽 감수 2분열에서 일어나 왼쪽의 ㉡로 B/b와 F/f가 연관되어 있는 염색체가 물려야 한다. 이때 ㉠의 F가 2이므로 감수 1분열에서 왼쪽의 n(2)로 $\frac{B}{f}$ 가, 오른쪽의 n(2)(㉠)로 $\frac{B}{f}$ 가 이동해야 한다.

ㄱ. 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (x)

ㄴ. 왼쪽의 n(2)가 $\frac{B}{f}$ 를 가지므로, ㉡에서도 B와 f는 연관되어 있다. (○)

ㄷ. ㉠의 염색 분체 수는 4n, 즉 12이고, ㉡의 염색체 수는 n+1, 즉 4이다. 따라서 구하는 분수 값은 1/3이다. (x)

5. 2020학년도 9월 평가원 모의고사 15번 (답: L)

- ① ㉠은 1이 있으므로 II 또는 III이다. 그런데 ㉠은 a(또는 D)가 1인데, ㉠과 ㉡은 모두 a(또는 D)가 0이므로, ㉠은 II가 될 수 없다. 따라서 ㉠은 III이다. 즉 ㉠과 ㉡은 I과 II 중 하나인데, ㉠에서 B가 0인데 ㉡에서 B가 2이므로 ㉡이 I이고, ㉠이 II이다.
- ② ㉡(I)에서 B가 2인데 ㉠(II)에서 B가 0이므로 비분리는 왼쪽 감수 2분열에서 일어나서 오른쪽으로 B와 b가 존재하는 염색체가 물렸다.
- ③ 정상 세포인 ㉡(I)에서 A는 2인데, I~III 중 1개의 세포만 A를 가지므로, ㉠(II)은 A를 갖지 않는다. 그런데 비분리는 1회만 일어났으므로, I(㉡)에서 A와 B는 연관되어 있어야 한다. 즉 I(㉡)은 $\frac{A}{B}$ 를 갖고 있었는데, 비분리로 인해서 이 $\frac{A}{B}$ 가 II(㉠)로 전달되지 않은 것이다.

ㄱ. 이 사람은 AaBb이고, I(㉡)에 $\frac{A}{B}$ 가 있으므로, Q는 $\frac{A}{B} || \frac{a}{b}$ 이다. 즉 Q에서 A와 b는 연관되어 있지 않다. (x)

ㄴ. 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (○)

ㄷ. II(㉠)는 a와 b를 모두 갖지 않고, D와 d가 존재하는 염색체에서는 돌연변이가 일어나지 않았으므로 II(㉠)에서 d는 1이다. 한편 정상 세포인 III(㉠)은 $\frac{a}{b}$, D이다. 즉 세포 1개당 a, b, d의 DNA 상대량을 더한 값은 II에서 1, III에서 2로, 서로 다르다. (x)

[Part 2]

6. 2016학년도 9월 평가원 모의고사 17번 (답: LC)

- ① ㉡와 ㉢에는 모두 1이 있고, ㉠~㉣ 중 2n(2)는 없으므로, ㉡와 ㉢는 모두 n(1), 즉 ㉡과 ㉢ 중 하나이다.
- ② ㉡, ㉢, ㉣를 비교하면, ㉢는 확실히 2n(4)이다. 남은 ㉡과 ㉣ 중에 하나는 2n(4)이고 하나는 n(2)인데, ㉡와 ㉣ 중 어떤 세포가 2n(4)이든, H와 h의 합은 2이고 T와 t의 합은 4이므로, H와 h는 상염색체에, T와 t는 상염색체에 존재한다. 이때 H와 h의 합이 4인 ㉢는 여자의 세포인 ㉠이고, H와 h는 X 염색체에 존재한다.
- ③ ㉡(n(1))는 H가 2이므로 X 염색체에서 비분리가 일어난 세포이다. 따라서 ㉡는 남자의 세포인 ㉡이고, 남은 ㉢는 ㉢이다. 또한 ㉡(㉡)에 H가 존재하므로 ㉠에도 H가 존재해야 한다. 따라서 ㉣가 ㉠이고, 남은 ㉡가 ㉢이다.
- ④ ㉡(㉡, n(1))의 H가 2이므로 (나)에서 상염색체 비분리는 왼쪽 감수 2분열에서 일어나서, 왼쪽의 ㉡으로 X 염색체가 물렸다.

⑤ ㉡(㉡, n(2))의 [T, t]가 [2, 2]이므로 T와 t는 21번 염색체에 존재하고, (가)에서 21번 염색체의 비분리는 감수 1분열에서 일어나서, 왼쪽의 ㉡으로 21번 염색체가 물렸다.

ㄱ. (나)에서 감수 2분열 비분리, 즉 염색 분체의 비분리가 일어났다. (x)

ㄴ. ㉡(㉡)은 정상보다 21번 염색체를 하나 더 가지므로 ㉡의 상염색체 수는 23이다. 한편 ㉢(㉢)는 정상보다 21번 염색체를 하나 덜 가지므로 ㉢의 총 염색체 수는 22이다. 따라서 ㉡의 상염색체 수와 ㉢의 총 염색체 수의 합은 45이다. (○)

ㄷ. ㉠(㉡)은 T의 DNA 상대량이 2이고, 상염색체 수는 2여서 구하는 분수 값은 1이다. ㉡(㉡)은 T의 DNA 상대량이 1이고, 상염색체 수는 정상보다 하나 많은 2여서 구하는 분수 값은 1/2이다. 따라서 구하는 분수 값은 ㉠이 ㉡의 2배이다. (○)

7. 2017년 10월 교육청 모의고사 11번 (답: L C)

① 이 동물 개체의 유전자형이 AaBbDd이므로 2n(2)인 I은 ㉠ 또는 ㉡이다. ㉠과 ㉡에는 1이 있으므로 ㉠과 ㉡ 중 2n(2)가 아닌 나머지 하나는 n(1)이다. 그런데 ㉠에서 [D, d]가 [1, 1]이고, ㉡에서 [B, b]가 [1, 1]이므로, ㉠이 n(1)이라면 D/d가 있는 염색체에서 감수 1분열 비분리가 일어난 것이고, ㉡이 n(1)이라면 B/b가 있는 염색체에서 감수 1분열 비분리가 일어난 것이다.

② ㉠과 ㉡이 각각 2n(2)와 n(1) 중 하나이므로 ㉢과 ㉣은 각각 n(2)와 n(1) 중 하나이다. 그런데 ㉢에서 a와 B가 모두 2이고, ㉣에서 b와 D가 모두 2이며, 이 동물 개체의 유전자형은 AaBbDd이므로, ㉢이 n(1)이라면 a와 B가 연관된 염색체에서 감수 2분열 비분리가 일어난 것이고, ㉣이 n(1)이라면 b와 D가 연관된 염색체에서 감수 2분열 비분리가 일어난 것이다.

③ 그런데 감수 1분열과 감수 2분열에서 비분리는 서로 다른 염색체에서 일어났으므로, ㉤이 a와 B가 연관된 염색체에서 감수 2분열 비분리가 일어나서 형성된 n(1)이고, ㉥이 D/d가 있는 염색체에서 감수 1분열 비분리가 일어나서 형성된 n(1)이다. 자동으로 ㉦는 n(2)인 II가 되고, ㉧은 2n(2)인 I이 된다. 이때 2n(2)인 I에서 a는 1이므로, ㉨는 1이다. 또한 a와 B가 연관된 염색체는 8번 염색체이고, D/d가 있는 염색체는 7번 염색체이며, 이 동물 개체는 $\begin{matrix} \text{A} & \text{B} \\ \text{a} & \text{b} \end{matrix}$, Dd이다.

④ D/d가 있는 7번 염색체에서 감수 1분열 비분리가 일어났는데, ㉩(II)에 D가 있으므로, 감수 1분열에서 7번 염색체는 왼쪽의 II(㉩)로 물렸다. 따라서 D와 d가 모두 1인 ㉪는 III이고, 남은 ㉫는 IV이다.

⑤ IV(㉫)가 a와 B가 연관된 8번 염색체에서 감수 2분열 비분리가 일어나서 형성된 n(1)이므로, 감수 2분열 비분리는 오른쪽 감수 2분열에서 일어나 8번 염색체가 오른쪽의 IV(㉫)로 물렸다. 이때 II(㉩)와 III(㉪)에는 A와 b가 연관된 염색체가 정상적으로 존재해야 하므로, ㉬(III)에서 B는 0, b는 1이고, ㉭(II)에서 B는 0이다. 즉 ㉮는 0, ㉯는 1, ㉰는 0이다.

ㄱ. ㉫는 IV이다. (x)

ㄴ. ㉮+㉯는 1이고, ㉰+㉱도 1이다. 즉 ㉮+㉯와 ㉰+㉱는 같다. (○)

ㄷ. I은 $\begin{matrix} \text{A} & \text{B} \\ \text{a} & \text{b} \end{matrix}$, Dd로, A와 b가 연관되어 있다. (○)

8. 2019학년도 6월 평가원 모의고사 15번 (답: L C)

① ㉠~㉣은 각각 2n(4) 또는 n(2)이다. ㉠은 f가 0인데 ㉡, ㉢, ㉣은 모두 f가 0이 아니므로 ㉠은 n(2)이다. ㉡은 e가 0이 아닌데 ㉠, ㉢, ㉣은 모두 e가 0이므로 ㉡은 2n(4)이다. 이때 ㉡은 F가 0인데 ㉠은 F가 0이 아니므로 ㉠은 ㉡에서 분열된 것이 아니다. 또한 ㉡은 E가 2인데 ㉢은 E가 4이므로 ㉢도 ㉡에서 분열된 것이 아니다. 따라서 ㉣이 ㉡에서 분열되었고, ㉠이 ㉢에서 분열되었다. 즉 ㉣은 n(2)이고, ㉢은 2n(4)이다.

② G와 g가 상염색체 유전자라면 ㉡에서 [G, g]는 [0, 4]여야 한다. 비분리는 성염색체에서 일어났는데, ㉡에서 g가 0일 수는 없으므로 모순이다. 따라서 G와 g는 성염색체 유전자이다.

③ ㉠에 G가 존재하므로 ㉢에도 G가 존재해야 하는데, ㉢에는 g도 존재하므로 성염색체 유전자인 G와 g를 모두 가지는 ㉢은 암컷의 세포이며, G와 g는 X 염색체 유전자이다. 자동으로 ㉠은 암컷, ㉡과 ㉣은 수컷의 세포가 된다. 즉 I은 ㉢, II는 ㉡, III은 ㉠, IV는 ㉣이다. 한편, ㉤(II, 수컷의 2n(4))에서 대립 유전자 쌍의 합이 4인 E와 e, F와 f는 모두 상염색체 유전자이다. 상염색체에서는 돌연변이가 일어나지 않았기에, ㉥(IV, n(2))에서 e가 0이므로 E는 2이고, ㉥(I, 2n(4))에서 f가 2이므로 F도 2이다. 즉 ㉦와 ㉧는 모두 2이다.

④ (가)의 감수 1분열에서 성염색체 비분리가 일어났는데, ㉠(III)에 X 염색체 유전자인 G가 있으므로, (가)의 감수 1분열에서 성염색체는 왼쪽의 III(㉠)으로 물렸다. 따라서 ㉠(III)에서 g는 2이다. 즉 ㉢는 2이다. 한편 (나)의 감수 1분열에서도 성염색체 비분리가 일어났는데, ㉡(II)에 있는 X 염색체 유전자인 g가 ㉣(IV)에는 없으므로, (나)의 감수 1분열에서 성염색체는 왼쪽으로 물렸다.

ㄱ. ㉣은 IV이다. (x)

ㄴ. ㉮+㉯+㉰=6이다. (○)

ㄷ. (가)와 (나) 모두 감수 1분열에서 비분리가 일어나서 성염색체가 왼쪽으로 물렸으므로, ㉦와 ㉧의 성염색체 수는 2로 같다. (○)

9. 2019년 4월 교육청 모의고사 11번 (답: ㄱ)

① (다)에서 f는 2이고 G는 1인데, 만약 (다)가 2n(2)였다면 상염색체 유전자인 G와 g의 합이 2여야 하지만, (다)에서 G와 g의 합은 1이므로, (다)는 f가 있는 염색체에서 비분리가 일어나서 형성된 n(1)이다.

② (나)에는 1이 있는데 F와 f의 합과 G와 g의 합이 모두 1이므로 n(1)이다. (나)가 F와 g를 갖고, (다)가 f와 G를 가지므로 II의 유전자형은 FfGg이고, 이때 (다)(n(1))에서 f가 2이므로 II의 Q에서 비분리는 감수 2분열에서 일어났다.

③ P와 Q 중 한 세포에서만 비분리가 일어났으므로, P로부터 분열된 세포인 (가), (나), (라)는 모두 정상 세포이다. (가)에는 1과 2가 모두 있으므로(또는 (가)에서 G와 g가 모두 1이므로) (가)는 2n(2)이고, I의 유전자형은 FFGg이다. 또한 (라)는 핵상이 2n이 아니고 2가 있으므로 n(2)이다.

ㄱ. I의 ㉠에 대한 유전자형은 FFGg이다. (○)

ㄴ. (가)의 핵상은 2n, (라)의 핵상은 n으로, (가)와 (라)의 핵상은 서로 다르다. (x)

ㄷ. Q의 감수 분열 시 염색체 비분리가 일어났다. (x)

6. 돌연변이 - ⑥ 비분리와 세포 분열 <유전자와 DNA 상대량의 합>

[Part 1]

1. 2019학년도 9월 평가원 모의고사 9번 (답: ㄱ)

① DNA 상대량의 합이 홀수이면 $2n(2)$ 또는 $n(1)$ 이므로 ㉠과 ㉡은 각각 ㉠과 IV 중 하나이다.

② DNA 상대량의 합이 $2n(2)$ 에서 3이면 $2n(4)$ 에서는 6이다. 이때 IV의 DNA 상대량의 합이 3인데 II의 DNA 상대량의 합이 2일 수는 없으므로, DNA 상대량의 합이 2인 세포는 II가 아니라 III이다. 따라서 III은 ㉠이고, 남은 II는 ㉡이다. 이때 $2n(4)$ 에서의 6은 $n(2)$ 에서 2와 4로 나누어지므로 II에서 DNA 상대량의 합은 4가 된다.

③ DNA 상대량의 합이 II(㉡, $n(2)$)에서 4인데 IV(㉠ 또는 ㉡, $n(1)$)에서는 3이다. $n(2)$ 가 $n(1)$ 이 될 때 DNA 상대량의 합이 절반이 되지 않았으므로, 위쪽 감수 2분열에서 비분리가 일어나서 21번 염색체가 위쪽으로 물렸다.

ㄱ. ㉡은 II이다. (○)

ㄴ. 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (x)

ㄷ. 정자 ㉡는 21번 염색체를 2개 가지므로, ㉡와 정상 난자가 수정되어 태어난 아이는 21번 염색체를 3개 가져서 다운 증후군의 염색체 이상을 보인다. (○)

6. 돌연변이 - ⑦ 비분리와 유전

[Part 1]

1. 2015학년도 수능 18번 (답: ㄱ)

① 색맹은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 정상 유전자를 D, 색맹 유전자를 d라고 한다면 아버지, 어머니는 모두 정상이므로 각각 DY, Dd여야 한다. 만약 어머니가 DD라면 비분리가 일어나더라도 색맹인 자손이 나올 수는 없기 때문이다.

② DY와 Dd 사이에서 클라인펠터 증후군이면서 색맹인 자손이 나오려면, 어머니의 감수 2분열에서 비분리가 일어나 어머니는 dd를 물려주고, 아버지는 Y를 물려주어 자손이 ddY가 되어야 한다.

③ 남자 ㉡은 X 염색체를 2개 가지므로, (나)에서는 왼쪽 감수 2분열에서 비분리가 일어나서 성염색체가 왼쪽의 ㉡으로 물렸다. 한편 정자 ㉢은 Y 염색체만 1개 가져야 하는데, (가)에서도 비분리는 1회 일어나야 하므로, (가)에서는 오른쪽 감수 2분열에서 비분리가 일어났다.

ㄱ. (나)에서 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (○)

ㄴ. ㉠과 ㉡은 모두 정상인 $n(2)$ 이므로, 염색체 수는 같다. (○)

ㄷ. ㉢이 Y 염색체를 가지고, (가)에서는 오른쪽 감수 2분열에서 성염색체 비분리가 일어났으므로, ㉡과 ㉢ 중 하나는 성염색체로 XX를 가지고, 나머지 하나는 성염색체를 갖지 않는다. 따라서 ㉡과 ㉢ 중 하나만 X 염색체를 가진다. (x)

2. 2015년 10월 교육청 모의고사 5번 (답: ㄷ)

① 색맹은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 정상 유전자를 D, 색맹 유전자를 d라고 한다면 아버지, 어머니는 모두 정상이므로 각각 DY, Dd여야 한다. 만약 어머니가 DD라면 비분리가 일어나더라도 색맹인 자손이 나올 수는 없기 때문이다.

② DY와 Dd 사이에서 클라인펠터 증후군이면서 색맹인 아들이 나오려면 아버지가 Y를, 어머니가 dd를 물려주어야 하고, 터너 증후군이면서 색맹인 딸이 나오려면 아버지가 성염색체를 물려주지 않고, 어머니가 d를 물려주어야 한다.

③ 남자 ㉠이 수정되어 철수가 태어났으므로 ㉠은 ddi이다. 따라서 (가)에서는 왼쪽 감수 2분열에서 비분리가 일어나서 성염색체가 왼쪽의 ㉠으로 물렸다. 또한 정자 ㉢이 수정되어 영희가 태어났으므로, ㉢은 성염색체를 갖지 않는다.

ㄱ. (가)에서 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (x)

ㄴ. ㉠은 ddi이고, ㉠이 ddi이므로 ㉡은 d를 갖지 않으며, ㉢도 d를 갖지 않는다. 따라서 ㉠~㉢에서 색맹 유전자를 가진 X 염색체 수의 합은 2이다. (x)

ㄷ. ㉢의 염색체 수는 정상보다 하나 적으므로, 22이다. (○)

3. 2016년 4월 교육청 모의고사 15번 (답: ㄱ)

① ㉠에 대해서 4(아빠)는 병인데 6(딸)은 정상이므로 ㉠은 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. (4와 6의 관계 대신 7과 3의 관계를 봐도 된다.)

② 1은 A*가 2인데 ㉠에 대해서 병이므로 A*는 병 유전자, A는 정상 유전자이다. 여자인 3은 A*가 0이므로 ㉠에 대한 유전자형이 동형 접합인데, 6과 7의 ㉠의 표현형이 서로 다르므로 3의 ㉠의 유전자형은 우성 동형 접합이 아니다. 따라서 3의 ㉠의 유전자형은 열성 동형 접합이고, 이때 3은 ㉠에 대해서 정상이므로 ㉠은 우성 형질이다. 그런데 ㉠은 우성 X 염색체 반성 유전이 아니므로, ㉠은 A*가 A에 대해 우성인 우성 일반 유전자이다.

③ 3은 B*가 2인데 ㉡에 대해서 병이므로 B*는 병 유전자, B는 정상 유전자이다. 여자인 1은 B*가 1이므로 ㉡에 대한 유전자형이 이형 접합인데, 1의 ㉡의 표현형은 정상이므로 ㉡은 열성 형질이다. 또한 1(여자)과 2(남자)는 B*가 모두 1인데 ㉡에 대한 표현형이 다르므로 ㉡은 X 염색체 반성 유전이다. 즉, ㉡은 B가 B*에 대해 우성인 열성 X 염색체 반성 유전이다.

④ 8은 ㉡에 대해서 정상이기에 우성 정상 유전자 B를 가져야 한다. 3은 B*B*이고 4는 BY이므로, 3은 8에게 B*를, 4는 감수 1분열 비분리가 일어나 8에게 BY를 물려주었다.

ㄱ. A*는 상염색체에 존재한다. (○)

ㄴ. ② 형성 과정 중 염색체 비분리는 감수 1분열에서 일어났다. (x)

ㄷ. 2가 AA이므로 5는 AA*, BY이다. 3이 B*B*이므로 6은 AA, BB*이다. 따라서 5와 6 사이에서 태어난 아이에게서 ㉠이 나타날 확률은 1/2, ㉡이 나타날 확률은 1/4이므로 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/8이다. (x)

4. 2017학년도 6월 평가원 모의고사 19번 (답: ㄱ)

① ㉠에 대해서 1과 2(부모)는 정상인데 5(자손)는 병이므로 ㉠은 열성 형질이다.

② ㉡에 대해서 2(엄마)는 병인데 5(아들)는 정상이므로 ㉡은 열성 X 염색체 반성 유전이 아니다.

③ 1은 A*와 B*가 모두 0인데 ㉠과 ㉡에 대해서 모두 정상이므로, A*와 B*는 모두 병 유전자이고, A와 B는 모두 정상 유전자이다. 이때 ㉠은 열성 형질이므로 A가 A*에 대해 우성이다.

④ 1은 A*가 0이므로 A와 A* 중 우성 유전자인 A만 갖는데, 4와 5의 ㉠의 표현형이 서로 다르므로 1의 ㉠의 유전자형은 우성 동형 접합이 아니다. 따라서 ㉠은 X 염색체 반성 유전이다. 즉 ㉠은 A가 A*에 대해 우성인 열성 X 염색체 반성 유전이다. 또한 ㉠과 ㉡은 연관인데, ㉡은 열성 X 염색체 반성 유전이 아니므로 우성 X 염색체 반성 유전이다. 즉 ㉡은 B*가 B에 대해 우성인 우성 X 염색체 반성 유전이다.

④ 3은 $\frac{A^*}{B} \parallel \frac{A^*}{B}$ 이고, 4는 $\frac{A}{B^*} \parallel Y$ 인데, 이들 사이에서 ㉠이 발현되지 않고 ㉡이 발현된 아들은 정상적으로는 나올 수 없다. 따라서 7이 돌연변이이고, 8이 정상이다. 8은 정상이므로 3으로부터 $\frac{A^*}{B}$ 를, 4로부터 $\frac{A}{B^*}$ 를 물려받은 $\frac{A^*}{B^*} \parallel \frac{A^*}{B}$ 이다. 한편 7은 ㉠에 대해서 정상이므로 A를 가져야 한다. 따라서 7은 4로부터 $\frac{A}{B^*} \parallel Y$ 를 받아야 하므로, 비분리는 4의 감수 1분열에서 일어났고, 7은 3으로부터 $\frac{A^*}{B}$, 4로부터 $\frac{A}{B^*} \parallel Y$ 를 받은 $\frac{A^*}{B} \parallel \frac{A}{B^*} \parallel Y$ 가 된다. 이때 3, 4, 7, 8을 참고하면, ㉠은 1, ㉡은 1, ㉢은 0, ㉣은 1이다.

ㄱ. ㉠+㉡+㉢+㉣=3 이다. (○)

ㄴ. 4의 감수 1분열 과정에서 염색체 비분리가 일어났다. (x)

ㄷ. 5는 $\frac{A^*}{B} \parallel Y$ 이고, 6은 $\frac{A^*}{B} \parallel \frac{A^*}{B}$ 이다. 이들 사이에서 태어난 아이에게서는 무조건 ㉠이 발현되고 ㉡이 발현되지 않는다. 따라서 구하는 확률은 1이다. (x)

5. 2017학년도 9월 평가원 모의고사 19번 (답: ㄴ ㄷ)

* A*는 a로, B*는 b로 표기함.

① ㉠에 대해서 부모는 모두 정상인데 자녀 2는 병이므로 ㉠은 열성 X 염색체 반성 유전이다.

② ㉡의 병 유전자를 ○, 정상 유전자를 x라고 하자. 자녀 1은 $\frac{x}{X} \parallel Y$ 이고, 자녀 2는 $\frac{x}{X} \parallel Y$ 이다. 따라서 엄마는 $\frac{x}{X} \parallel \frac{x}{X}$ 이다. 부모 중 한 사람만 ㉡이 발현되었으므로 엄마가 ㉡에 대해서 병이고, 아빠가 ㉡에 대해서 정상이다.

③ 자녀 3은 엄마로부터 ○를 받는데, ㉡에 대해서 정상이므로, ㉡은 열성 X 염색체 반성 유전이다.

④ 아빠는 $\frac{x}{X} \parallel Y$ ($\frac{x}{B} \parallel Y$) 이고, 엄마는 $\frac{x}{X} \parallel \frac{x}{X}$ ($\frac{x}{b} \parallel \frac{x}{b}$) 인데, 자녀 4는 ㉡에 대해서 정상이면서 클라인펠터 증후군이므로, 아빠의 감수 1분열에서 비분리가 일어나서 아빠가 자녀 4에게 $\frac{x}{X} \parallel \frac{x}{B}$ 와 Y를 모두 물려주어야 한다.

ㄱ. ㉡은 열성 형질이다. (x)

ㄴ. 엄마는 $\frac{x}{X} \parallel \frac{x}{X}$ ($\frac{x}{b} \parallel \frac{x}{b}$) 이므로 A와 b가 연관된 염색체를 가지고 있다. (○)

ㄷ. ③은 감수 1분열에서 염색체 비분리가 일어나 형성된 정자이다. (○)

6. 2017년 3월 교육청 모의고사 15번 (답: ㄴ)

① 정상인 부모에게서 병인 자손이 나왔으므로 ㉠은 열성 X 염색체 반성 유전이다.

② 아버지는 RY이고, 어머니는 Rr이다. 어머니가 RR이면 염색체 비분리로는 병인 자손을 만들 수 없기 때문이다. 이때 오빠는 영희보다 X 염색체가 많은데, 영희는 여사이므로 X 염색체를 적어도 하나는 가져야 한다. 따라서 오빠는 XXY, 즉 클라인펠터 증후군이고 영희는 X, 즉 터너 증후군이다.

③ 오빠와 영희는 모두 병이므로 유전자형은 각각 rY 와 rY 이다. r 는 어머니만 가지므로 오빠는 어머니로부터 r , 아버지로부터 Y 를 물려받은 것이고, 영희는 어머니로부터 r 를 물려받은 것이다. 따라서 오빠가 태어날 때는 어머니의 감수 2분열에서 비분리가 일어났고, 영희가 태어날 때는 아버지의 감수 1분열 또는 감수 2분열에서 비분리가 일어났다.

ㄱ. 오빠는 감수 2분열에서 염색체 비분리가 일어나 형성된 난자가 수정되어 태어났다. (x)

ㄴ. 영희가 태어날 때 아버지의 감수 분열에서 염색체 비분리가 일어났다. (○)

ㄷ. 어머니는 Rr , 영희는 rY 이므로 체세포 1개당 r 의 수는 어머니와 영희가 서로 같다. (x)

7. 2017년 4월 교육청 모의고사 16번 (답: ㄱㄴ)

① 어머니는 A^* 가 2인데 ㉠에 대해서 병이므로 A^* 는 병 유전자, A 는 정상 유전자이다. 또한 어머니의 ㉠의 유전자형은 동형 접합인데, 형과 누나의 ㉡의 표현형이 서로 다르므로 어머니의 ㉠의 유전자형은 우성 동형 접합이고, 이때 어머니는 ㉠에 대해서 병이므로 ㉠은 열성 형질이다. 즉 ㉠은 A 가 A^* 에 대해 우성이다.

② 아버지는 A 와 A^* 중 우성 유전자인 A 만 갖는데, 형과 누나의 ㉡의 표현형이 서로 다르므로 아버지의 ㉠의 유전자형은 우성 동형 접합이 아니다. 따라서 ㉠은 X 염색체 반성 유전이다. (아버지는 A 와 A^* 중 A 만 갖고 어머니는 A 와 A^* 중 A^* 만 갖는데, 만약 ㉠이 일반 유전이라면 형과 누나가 모두 AA^* 여서 ㉡의 표현형이 같아야 하지만, 형과 누나의 ㉡의 표현형은 서로 다르므로 ㉠은 X 염색체 반성 유전이라고 해도 된다.) 즉 ㉠은 A 가 A^* 에 대해 우성인 열성 X 염색체 반성 유전이다.

③ 아버지(남자)에 B 와 B^* 가 모두 존재하므로 ㉢은 일반 유전이다. 이때 아버지의 ㉢에 대한 유전자형은 이형 접합인데 아버지는 ㉢에 대해서 병이므로 ㉢은 우성 일반 유전이고, 어머니는 B 와 B^* 중 B 만 가지는데 ㉢에 대해서 정상이므로 B 가 정상 유전자, B^* 가 병 유전자이다. 즉 ㉢은 B^* 가 B 에 대해 우성인 우성 일반 유전이다.

④ 아버지가 AY , 어머니가 A^*A^* 이고, 철수가 태어날 때 성염색체 비분리는 정자에서 일어났으므로, ㉠에 대해서 정상인 철수가 태어나려면 정자는 감수 1분열 비분리가 일어난 AY , 난자는 A^* 여야 한다.

ㄱ. A 는 A^* 에 대해 우성이다. (○)

ㄴ. 철수의 형은 BB 로, ㉢의 유전자형은 동형 접합이다. (○)

ㄷ. ㉠이 형성될 때 성염색체 비분리는 감수 1분열에서 일어났다. (x)

8. 2019년 3월 교육청 모의고사 18번 (답: ㄴ)

① 색맹은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 그런데 (가)와 색맹을 결정하는 유전자는 연관되어 있고, (가)에 대해서 3과 4(부모)는 정상인데 8(자손)은 병이므로 (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이다.

② 1은 $\frac{A}{B}||Y$ 이고, 6이 1로부터 $\frac{A}{B}$ 를 받은 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 이므로 2는 $\frac{A}{B}$ 를 가지는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 이다. 이때 5는 (가)에 대해서 병이므로 a 만 2개 가지는데, 5에서 a 의 수와 B 의 수는 같으므로 5는 $\frac{a}{B}||\frac{a}{B}||Y$ 이다. 1에는 $\frac{a}{B}$ 가 없으므로 2가 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 여야 하고, 비분리는 2의 감수 2분열에서 일어났다. 즉 2는 5에게 $\frac{a}{B}$ 를 2개 주었고, 1은 5에게 Y 를 주었다.

③ 3은 $\frac{A}{B}||Y$ 이고, 7이 $\frac{A}{B}||Y$ 이므로 4는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 이다. 그런데 8은 $\frac{a}{B}$ 이므로, 4가 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 여야 하고, 비분리는 3에서 일어났다. 즉 3은 8에게 성염색체를 주지 않았고, 4는 8에게 $\frac{a}{B}$ 를 주었다.

ㄱ. (가)는 열성 형질이다. (x)

ㄴ. 성염색체 비분리는 2와 3의 감수 분열에서 일어났다. (○)

ㄷ. 6은 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 이고 7은 $\frac{A}{B}||Y$ 이다. 따라서 6과 7 사이에서 태어난 아이에게서 (가)와 적록 색맹이 모두 발현될 확률은 $1/4$ 이다. (x)

9. 2020학년도 6월 평가원 모의고사 10번 (답: ㄱㄷ)

① (가)의 연관/독립 상태가 3연관이면 특정 부모 사이에서 태어난 아이에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형이 최대 4가지이다. 또한 (가)의 연관/독립 상태가 3독립이면 $AaBbDd$ 인 부모 사이에서 태어난 아이에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 7가지이다. 따라서 (가)의 연관/독립 상태는 2연관 1독립이다.

② 부모가 모두 $AaBbDd$ 이므로, 부모의 대문자 배치로 가능한 것은 2|0, 1|0 또는 1|1, 1|0 이다. 따라서 자손의 (가)의 표현형이 5가지가 되려면, 부모 중 한 명은 2|0, 1|0 이고 나머지 한 명은 1|1, 1|0 이어야 한다.

③ 2|0, 1|0 과 1|1, 1|0 사이에서 (가)의 표현형이 (7)인 자손은 정상적으로 나올 수 없다. 따라서 돌연변이가 일어나서 태어난 자손은 자녀 2이다.

④ 2|0, 1|0 과 1|1, 1|0 사이에서 비분리가 1번 일어나 (가)의 표현형이 (7)인 자손이 나오려면 2|0 에서 감수 2분열 비분리가 일어나 총 4개의 대문자가 자손에게 전달되고, 두 개의 1|0 에서는 모두 1개의 대문자가 자손에게 전달되어야 한다. 이때 비분리는 난자가 형성될 때 일어났으므로 2|0, 1|0 은 어머니이고, 1|1, 1|0 은 아버지이며, 어머니의 감수 2분열에서 비분리가 일어나서 자녀 2가 태어난 것이다.

ㄱ. (가)의 유전은 다인자 유전이다. (○)

ㄴ. 아버지는 1|1, 1|0 이다. 따라서 아버지에서 A, B, D 를 모두 갖는 정자는 형성될 수 없다. (x)

ㄷ. ㉠의 형성 과정에서 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (○)

10. 2020년 10월 교육청 모의고사 20번 (답: L C)

- ① 아버지는 A*와 B만 가지는데 (가), (나)에 대해서 각각 정상, 병이므로 A*는 정상 유전자이고, B는 병 유전자이다. 자동으로 A는 병 유전자, B*는 정상 유전자가 된다.
- ② 형은 A*를 가지는데, (가)에 대해서 병이므로 병 유전자인 A도 가져야 한다. 형(남자)이 AA*인데 (가)에 대해서 병이므로, A가 A*에 대해 우성이고, (가)는 일반 유전이다. 즉 (가)는 A가 A*에 대해 우성인 우성 일반 유전이다. 자동으로 (나)는 X 염색체 반성 유전이 된다.
- ③ ㉠은 B*를 가지는데, (나)에 대해서 병이므로 병 유전자인 B도 가져야 한다. 따라서 ㉠은 BB*Y이고, B와 B*를 모두 가지는데 (나)에 대해서 병이므로 B가 B*에 대해서 우성이다. 즉 (나)는 B가 B*에 대해서 우성인 우성 X 염색체 반성 유전이다.
- ④ ㉠은 BB*Y인데, 아버지는 BY이고, 어머니는 B*B이다. 아버지만 B와 Y를 갖고 있으므로 ㉠은 아버지로부터 BY, 어머니로부터 B*를 물려받았다. 따라서 비분리는 아버지의 감수 1분열에서 일어났다.

- 가. (가)의 유전자는 상염색체에 있다. (x)
- 나. ㉠은 감수 1분열에서 상염색체 비분리가 일어나 형성된 정자이다. (○)
- 다. 아버지는 A*A*, BY이고, 누나가 A*A*이므로 어머니는 AA*, B*B이다. 따라서 아버지와 어머니 사이에서 태어난 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 1/2, (나)가 발현될 확률도 1/2이므로 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/4이다. (○)

11. 2022년 3월 교육청 모의고사 19번 (답: L C)

- ① (가)에 대해서 자녀 2(아들)는 병인데 어머니는 정상이므로 (가)는 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. 즉 (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이다.
- ② (나)의 병 유전자를 ○, 정상 유전자를 ×라고 하자. 자녀 1이 aa이므로 아버지는 a|Y이다. 또한 자녀 2가 a|Y이므로 어머니는 A|X이다. 따라서 자녀 1은 아버지로부터 a를, 어머니로부터 Y를 물려받은 a|Y인데, 자녀 1은 (나)에 대해서 병이므로, (나)는 우성 X 염색체 반성 유전이다.
- ③ 아버지는 a|Y(a|Y)이고, 어머니는 A|b(A|X)이다. 그런데 자녀 3은 (가)에 대해서 정상이고 (나)에 대해서 병인 남자이므로, 아버지로부터 a|(a)와 Y를 모두 물려받고, 어머니로부터 A|(A)를 물려받아야 한다. 즉 자녀 3이 태어날 때 비분리는 아버지의 감수 1분열에서 일어났다.

- 가. 아버지는 aY이므로, 아버지에게서 (가)가 발현되었다. (○)
- 나. (나)는 우성 형질이다. (○)
- 다. ㉠의 형성 과정에서 상염색체 비분리는 아버지의 감수 1분열에서 일어났다. (○)

[Part 2]

12. 2017학년도 수능 11번 (답: L C)

- ① ㉠에 대해서 오빠(아들)는 병인데 어머니는 정상이므로 ㉠은 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다.
- ② 어머니는 A*가 0이고 B*가 2인데 ㉠에 대해서 정상이고 ㉡에 대해서 병이므로 A*와 B*는 모두 병 유전자이다. 자동으로 A와 B는 모두 정상 유전자가 된다.
- ③ 영희는 ㉠과 ㉡에 대한 유전자형이 모두 이형 접합인데 ㉠에 대해서 병이고 ㉡에 대해서 정상이므로 ㉠은 우성 형질이고, ㉡는 열성 형질이다. 이때 ㉠은 우성 X 염색체 반성 유전이 아니므로, ㉠은 A*가 A에 대해 우성인 우성 일반 유전이다.
- ④ 오빠(남자)와 영희(여자)는 B*가 모두 1인데 ㉢의 표현형이 서로 다르므로, ㉢는 X 염색체 반성 유전이다. 즉 ㉢는 B가 B*에 대해 우성인 열성 X 염색체 반성 유전이다.

- ⑤ 적록 색맹은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 적록 색맹에 대한 정상 유전자를 D, 병 유전자를 d라고 하자. 아버지는 AA*, B|Y이고, 어머니는 AA, B*d|B*d이다. 이때 남동생은 ㉣에 대해서 정상이라서 B를 가져야 하므로, 남동생은 아버지로부터 감수 1분열 비분리를 통해 B|와 Y를 모두 물려받고, 어머니로부터 |d*를 물려받은 AA*, B|B*d|Y이다.

- 가. A*는 A에 대해 우성이다. (○)
- 나. 영희의 남동생은 D를 가지므로 적록 색맹이 아니다. (x)
- 다. 영희는 아버지로부터 A*, B|, 어머니로부터 A, |d*를 물려받은 AA*, B|B*d|이다. 한편 ㉠에 대해서 정상, ㉡에 대해서 병인 적록 색맹 남자는 AA, B*d|Y이다. 따라서 이들 사이에서 태어난 아이에게서 ㉠, ㉡, 적록 색맹이 모두 발현될 확률은 영희가 A*와 |d*를 물려줄 확률과 같은 1/4이다. (○)

13. 2018학년도 9월 평가원 모의고사 15번 (답: ㄱ ㄴ)

- ① 자녀 1은 C, D, G를 가지는데, C, D, G는 엄마에는 없고 아빠에만 있으므로 아빠는 (CDG)/(AFg) 이다. 그렇다면 자녀 1이 가지는 B, F, g는 모두 엄마에게서 온 것이므로 엄마는 (BFg)/(AEg) 이다.
- ② 돌연변이가 없다면 (CDG)/(AFg) 와 (BFg)/(AEg) 사이에서 자녀 3은 나올 수 있지만 자녀 2는 나올 수 없다. 따라서 자녀 2가 다운 증후군이다.
- ③ 자녀 2는 B와 E를 갖고 C를 갖지 않기 때문에 아빠에게서 (AFg), 엄마에게서 (BFg)와 (AEg)를 물려받은 (AFg)/(BFg)/(AEg) 이다. 즉 비분리는 엄마의 감수 1분열에서 일어났다.

- ㄱ. 자녀 1은 (CDG)/(BFg) 이다. (○)
- ㄴ. 다운 증후군을 나타내는 구성원은 자녀 2이다. (○)
- ㄷ. ③은 감수 1분열에서 비분리가 일어나 형성된 난자이다. (x)

14. 2018학년도 수능 19번 (답: ㄱ)

* H'는 h로, R'는 r로, T'는 t로 표기함.

- ① ㉠에 대해서 아빠는 병인데 자녀 2(딸)는 정상이므로 ㉠은 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. 즉 ㉠은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 또한 ㉡에 대해서 자녀 1(아들)은 병인데 엄마는 정상이므로 ㉡은 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. 즉 ㉡은 열성 X 염색체 반성 유전이다.
- ② 자녀 1이 (Hr?) / Y 이므로 엄마는 (Hr?) / (?R?) 이다. 그런데 엄마가 Hh라면 정상 아들이든, 클라인펠터 증후군 아들이든 무조건 H를 가지므로 ㉠에 대해서 병인 자녀 4가 나올 수 없다. 즉 엄마는 (Hr?) / (hR?) 이다. 이때 엄마의 유전자 연관 상태를 고려하면, ㉠과 ㉡에 대해서 모두 정상인 아들인 자녀 3은 정상적으로 태어날 수 없음을 알 수 있다. 따라서 자녀 3은 클라인펠터 증후군이고, 자녀 4는 정상 아들이다.
- ③ ㉢의 병 유전자를 ○, 정상 유전자를 x라고 하자. 자녀 1은 (Hr○) / Y 이고, 자녀 4는 (hR○) / Y 이므로, 엄마는 (Hr○) / (hR○) 이다. 즉 엄마는 자녀 2에게 ○를 물려주어야 하는데, 자녀 2는 ㉣에 대해서 정상이므로 ㉣은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 즉 ○는 t이고, x는 T 이다.
- ④ 아빠가 hY이므로 자녀 2는 Hh이다. 즉 엄마는 자녀 2에게 (Hrt)를 물려주므로 자녀 2는 (Hrt) / (hRT) 이다. 따라서 아빠는 (hRT) / Y 이다. 이때 자녀 3은 H와 R를 모두 가져야 하고 T를 가질 수 없으므로, 자녀 3은 엄마로부터 (Hrt)와 (hRt)를 모두 받은 (Hrt) / (hRt) / Y 이다. 따라서 비분리는 엄마의 감수 1분열에서 일어났다.

ㄱ. ㉡과 ㉣은 모두 열성 형질이다. (○)

- ㄴ. 클라인펠터 증후군을 나타내는 구성원은 자녀 3이다. (x)
- ㄷ. ③은 감수 1분열에서 염색체 비분리가 일어나 형성된 난자이다. (x)

15. 2018년 4월 교육청 모의고사 17번 (답: ㄱ ㄴ)

- ① ㉠은 A'가 2인데 (가)에 대해서 병이므로 A'는 병 유전자, A가 정상 유전자이고, B*가 0인데 (나)에 대해서 정상이므로 B'는 병 유전자, B가 정상 유전자이다.
- ② ㉠과 ㉡은 A*가 모두 1인데 (가)의 표현형이 서로 다르므로 ㉠과 ㉡ 중 한 명은 남자, 나머지 한 명은 여자이며, (가)는 X 염색체 반성 유전이다. 이때 ㉠과 ㉡ 중 남자인 사람은 A*Y이고, 여자인 사람은 AA*인데, ㉠은 (가)에 대해서 정상이고 ㉡은 (가)에 대해서 병이므로 (가)는 A가 A'에 대해 우성인 X 염색체 반성 유전이고, ㉠은 여자이며, ㉡은 남자이다. 즉 ㉣은 아버지이다. (이 가족 구성원은 모두 A*를 갖는데 (가)의 표현형이 모두 같지는 않으므로 A'는 열성 유전자이고, 형은 열성 병 유전자인 A*를 1개만 갖는데 (가)에 대해서 병이므로 (가)는 A가 A'에 대해 우성인 열성 X 염색체 반성 유전이며, 이때 ㉣도 A*를 1개만 갖는데 (가)에 대해서 병이므로 ㉣은 남자인 아버지라고 해도 된다.)
- ③ 아버지인 ㉣이 (가)에 대해서 병인데, 자손인 철수는 (가)에 대해서 정상이고, (가)는 열성 형질이므로, (가)에 대해서 병인 ㉡은 어머니가 될 수 없다. 따라서 ㉠이 어머니이고, ㉡이 누나이다.
- ④ 누나(㉡)는 BB이므로, 아버지(㉣)도 B를 가진다. 그런데 아버지(남자)는 B*도 가지고, (나)에 대해서 병이므로, (나)는 B*가 B에 대해 우성인 우성 일반 유전이다.
- ⑤ 철수는 (가)에 대해서 정상이므로 우성 정상 유전자인 A를 가져야 한다. 따라서 철수는 AA*Y이다. 이때 아버지(㉣)는 A*Y, 어머니(㉠)는 AA*인데 비분리는 아버지에게서 일어났으므로 어머니는 철수에게 A를, 아버지는 감수 1분열 비분리가 일어나서 철수에게 A*Y를 물려주었다.

- ㄱ. (나)의 유전자는 상염색체에 있다. (○)
- ㄴ. 누나는 A*A*, BB이므로 어머니에게서 A*와 B를 물려받았다. (○)
- ㄷ. ③가 형성될 때 염색체 비분리는 감수 1분열에서 일어났다. (x)

16. 2018년 7월 교육청 모의고사 20번 (답: ㄱㄴㄷ)

① A/a와 B/b는 X 염색체에, D/d는 상염색체에 존재한다고 하자. 또한 적록 색맹은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 적록 색맹에 대한 정상 유전자를 H, 병 유전자를 h라고 하자.

② 자녀 1은 (hab)/Y, ddoi다. 즉 아버지는 d를 갖고, 어머니는 (hab)와 d를 갖는다. 이때 아버지의 ㉠의 표현형은 (3)이므로, 아버지는 (hAB)/Y, Ddoi다.

③ 자녀 3은 여자이므로 아버지는 자녀 3에게 (hAB)를 물려준다. 자녀 3의 ㉠의 표현형은 (7)인데, 아버지로부터 받을 수 있는 ㉠의 대문자 수는 2 또는 3이므로, 어머니로부터 ㉠의 대문자를 4개 또는 5개 받아야 한다. 이때 어머니의 ㉠의 표현형은 (2)이므로, 어머니는 (HAB)/(hab), ddoi며, 자녀 3이 태어날 때 어머니는 감수 2분열 비분리가 일어나서 (HAB)를 2개 물려주어야 한다. 즉 자녀 3은 (HAB)/(HAB)/(hAB), Ddoi다.

④ 자녀 2는 적록 색맹에 대해 정상이므로 어머니로부터 (HAB)를 물려받아야 한다. 이때 자녀 2의 ㉠의 표현형은 (2)이므로, 자녀 2가 태어날 때 어머니는 감수 1분열 비분리가 일어나서 (HAB)와 (hab)를 물려주어야 하고, 아버지는 (hAB)가 아닌 Y를 물려주어야 한다. 즉 자녀 2는 (HAB)/(hab)/Y, ddoi다.

ㄱ. 자녀 2는 (HAB)/(hab)/Y 로, 클라인펠터 증후군이 다. (○)

ㄴ. ㉠가 형성될 때 어머니의 감수 2분열에서 비분리가 일어났다. (○)

ㄷ. 아버지는 (hAB)/Y, Ddoi고, 어머니는 (HAB)/(hab), ddoi다. 따라서 아버지와 어머니 사이에서 태어난 아이의 ㉠과 적록 색맹의 표현형이 아버지와 같은 (3), 색맹일 확률은 아버지가 (hAB)와 D를, 어머니가 (hab)를 자손에게 물려줄 확률과 같은 1/8이다. (○)

17. 2019학년도 수능 17번 (답: ㄴ)

* A*는 a로, B*는 b로 표기함.

① ㉠에 대해서 1과 2(부모)는 정상인데 5(자손)는 병이므로 ㉠은 열성 형질이다. (1, 2와 5의 관계 대신 3, 4와 8의 관계를 봐도 된다.)

② ㉠에 대해서 3(아빠)은 병인데 7(딸)은 정상이므로 ㉠은 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. (3과 7의 관계 대신 6과 2의 관계를 봐도 된다.)

③ 만약 ㉠이 우성 일반 유전이라면 2, 4, 7은 aa이고, 3, 6은 Aa이다. 그런데 1은 AA 또는 Aa이므로 분수 값이 1이 될 수 없어 모순이다. 한편 ㉠이 열성 일반 유전이라면 1, 3, 6은 aa이고, 2, 7은 Aa이다. 그런데 4는 AA 또는 Aa이므로 분수 값이 1이 될 수 없어 모순이다. 따라서 ㉠은 열성 X 염색체 반성 유전이다. ㉠과 ㉡은 연관이므로 ㉡도 열성 X 염색체 반성 유전이다.

④ 1은 $\frac{A}{B}||Y$ 이고, 6이 $\frac{A}{B}||Y$ 이므로 2는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 이다. 그런데 5는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{b}$ 이므로, 2는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 이고, 5가 태어날 때 2는 감수 2분열 비분리가 일어나서 5에게 $\frac{A}{B}$ 를 2개 물려주어야 한다. 자동으로 8은 정상 자손이 된다.

ㄱ. ㉠은 열성 형질이다. (x)

ㄴ. ㉠의 형성 과정에서 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (○)

ㄷ. 6은 $\frac{a}{B}||Y$ 이다. 3이 $\frac{a}{B}||Y$ 이므로 7은 $\frac{a}{B}$ 를 갖고, 8이 $\frac{a}{B}||Y$ 여서 4는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 인데 7이 ㉠에 대해서 정상이기 때문에 4는 7에게 $\frac{A}{B}$ 를 물려준다. 즉, 7은 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$ 이다. 따라서 6과 7 사이에서 태어난 아이에게서 ㉠이 발현되고 ㉡이 발현되지 않을 확률은 7이 자손에게 $\frac{a}{B}$ 를 물려줄 확률과 같은 1/2이다. (x)

18. 2020학년도 수능 19번 (답: ㄱ)

① 아버지와 어머니의 ㉠의 표현형이 모두 (3)인데 비분리가 일어난 정자가 수정되어서 ㉠의 표현형이 (8)인 자녀 1이 태어나려면 아버지는 최소 5개의 대문자를 자녀 1에게 전달해야 한다. 따라서 자녀 1이 태어날 때 수정된 정자는 III이고, III은 5개 이상의 대문자를 가진다.

② 정자 II는 A와 a가 모두 1이므로 감수 1분열 비분리에 의해서 형성된 정자이다. 자동으로 I과 III은 모두 0의 감수 2분열 비분리에 의해서 형성된 정자가 된다.

③ 정자 II에 A, B, D가 모두 있으므로 아버지는 AaBbDd 이다. 또한 ㉠의 연관/독립 상태는 2연관 1독립이다. 이러한 상황에서 정자 III이 대문자를 5개 이상 가지려면, 아버지가 2I0, 1I0 이고, 2I0 의 '2'쪽에서 감수 2분열 비분리가 일어나서, 2I0 의 '2' 2개, 1I0 의 '1'이 모두 정자 III으로 전달되어야만 한다. 즉 아버지의 2연관 부분에는 대문자 2개와 소문자 2개가 각각 연관되어 있어야 하는데, I에서 A와 D는 0이고, B는 1이므로, A/a와 B/b는 연관이 아니고, B/b와 D/d도 연관이 아니다. 즉, A/a와 D/d가 연관이다.

④ 정자 III이 가지는 대문자는 5개이므로, 어머니는 자녀 1에게 3개의 대문자를 전달해야 한다. 따라서 어머니는 2I0, 1I0 이다.

ㄱ. I은 감수 2분열에서 염색체 비분리가 일어나 형성된 정자이다. (○)

ㄴ. 자녀 1은 아버지로부터 A 2개, B 1개, D 2개를 받았고, 어머니로부터 A 1개, B 1개, D 1개를 받았다. 따라서 자녀 1의 체세포 1개당 A의 DNA 상대량은 3, B의 DNA 상대량은 2이다. 즉 구하는 분수 값은 2/3이다. (x)

ㄷ. 아버지와 어머니는 모두 2I0, 1I0 이므로, 아버지와 어머니 사이에서 태어난 아이에게서 나타날 수 있는 ㉠의 표현형은 최대 7가지이다. (x)

19. 2020년 7월 교육청 모의고사 20번 (답: ㄱㄷ)

- ① A(우성 유전자)를 갖는 ㉠~㉢이 (가)에 대해서 정상 이므로, (가)는 열성 형질이다. 또한 ㉢은 b를 갖지 않는 데 (나)에 대해서 병이므로, (나)는 우성 형질이다.
- ② ㉠과 ㉢ 모두 b가 1인 남자인데, (나)에 대한 표현형 이 다르다. 둘 다 돌연변이가 아닌 정상이라면 (나)가 일반 유전이든, X 염색체 반성 유전이든 일어날 수 없는 일 이므로, ㉠과 ㉢ 중 하나가 자녀 3이고, B/b가 존재하는 염색체에서 비분리가 일어났다.
- ③ A/a가 존재하는 염색체에서는 비분리가 발생하지 않 았는데, ㉠은 남자인데 A를 2개 가지므로 (가)는 일반 유전이다. 문제의 조건에 따라 (나)는 X 염색체 반성 유 전이 된다. 즉 (가)는 열성 일반 유전이고, (나)는 우성 X 염색체 반성 유전이다.
- ④ ㉠은 (나)에 대해서 병이므로 B를 가진다. ㉠은 남자 이고 (나)는 X 염색체 반성 유전인데 ㉠이 B와 b를 모두 가지므로, ㉠이 자녀 3이다. 즉 ㉠은 BbY이다.
- ⑤ ㉠(자녀 3)이 AA이므로 aa인 ㉢은 ㉠(자녀 3)의 부 모가 될 수 없다. 즉 ㉢은 자녀 1과 자녀 2 중 하나이다. 이때 ㉢(자녀 1 또는 자녀 2)은 aa이고 ㉠(자녀 3)은 AA이므로 부모는 모두 Aa이다. 따라서 ㉡이 어머니이고, ㉢이 아버지이며, ㉢은 자녀 1과 자녀 2 중 하나이다.
- ⑥ 아버지(㉢)는 BY이고, 어머니(㉡)는 bb인데, 자녀 3(㉠)은 BbY이다. 따라서 자녀 3은 아버지로부터 B와 Y 를 모두 받아야 하므로, 비분리는 아버지의 감수 1분열에 서 일어났다.

- ㄱ. 아버지(㉢)와 어머니(㉡)는 모두 Aa이므로, (가)에 대한 유전자형이 같다. (○)
- ㄴ. 자녀 3은 BbY로, 클라인펠터 증후군을 나타낸다. (x)
- ㄷ. ㉢가 형성될 때 아버지의 감수 1분열에서 염색체 비 분리가 일어났다. (○)

20. 2021학년도 9월 평가원 모의고사 17번 (답: ㄱ)

- ① 딸은 핵형이 정상이기때 체세포에서 대립 유전자 쌍의 DNA 상대량의 합은 2여야 하므로 V에서 a는 1이고 D는 2이다.
- ② 딸이 d를 갖지 않으므로, ㉢와 ㉣는 d를 갖지 않아야 한다. 따라서 I이 ㉢이고, II가 정상 정자이다. 정상 정자 인 II에서 B와 b가 모두 0이므로 B와 b는 성염색체에 존 재한다. 따라서 B와 b는 X 염색체에 존재하고, 자동으로 A와 a, D와 d는 상염색체에 존재하게 된다.
- ③ ㉢(I)에 D가 없으므로, ㉣에서 D는 2여야 한다. 따라 서 III이 ㉣이고, ㉠은 2이다. 자동으로 IV는 정상 난자가 된다. 이때 ㉢(I)에서 D와 d의 합이 0이고, ㉣(III)에서 D와 d의 합이 2이므로, ㉢(I)와 ㉣(III)에서 비분리는 모 두 D와 d가 존재하는 상염색체에서 일어났다.

- ④ 성염색체에서는 돌연변이가 일어나지 않았고, ㉢(I)가 수정되어 딸이 태어나므로 ㉢(I)는 X 염색체를 가져야 한 다. 따라서 ㉢(I)에서 b가 0이므로 B는 1이고, ㉣(III)에 서 B가 0이므로 b는 1이다. 따라서 V에서 B와 b는 모두 1이다. 즉 ㉣은 1이다.

- ㄱ. (나)의 유전자는 X 염색체에 있다. (○)
- ㄴ. ㉠+㉡=3 이다. (x)
- ㄷ. IV는 정상 난자이므로, IV에서 d는 1이다. I, III, IV를 참고하면, 아버지는 BY, 어머니는 Dd이다. 즉 아버지의 체세포 1개당 B의 DNA 상대량과 어머니의 체세포 1개당 D의 DNA 상대량은 모두 1이므로, 구하는 분수 값은 1이 다. (x)

21. 2021년 4월 교육청 모의고사 19번 (답: ㄱㄴㄷ)

- ① (나)의 우열 관계는 E > F > G 이다. 7의 핵형은 정상 이고 1, 2, 4, 5, 6, 7의 (나)의 유전자형은 모두 다르므로 이들의 유전자형은 EE, EF, EG, FF, FG, GG 중 서로 다른 하나여야 한다. 그런데 2, 4, 6의 (나)의 표현형은 같으므 로, 2, 4, 6의 (나)의 표현형은 E이고, 이들은 EE, EF, EG 중 서로 다른 하나여야 한다.
- ② 남은 1, 5, 7은 FF, FG, GG 중 서로 다른 하나인데, 1 과 7의 (나)의 표현형은 다르므로 1과 7 중 한 명의 (나)의 표현형은 F이고, 나머지 한 명의 (나)의 표현형은 G이다. 자동으로 5의 (나)의 표현형은 F가 된다.
- ③ 1의 표현형이 F 또는 G이므로 4는 EE일 수 없고, 5의 표현형이 F이므로 6도 EE일 수 없다. 따라서 2가 EE이 다.
- ④ 1의 표현형은 F 또는 G이고 2는 EE이므로 3은 E를 1 개만 갖는다. 또한 7의 표현형은 F 또는 G이므로 7은 E 를 갖지 않는다. 따라서 3과 7에서 E의 합은 1이다. 즉 1 과 7에서 a의 합도 1인데, 1과 3의 (가)의 표현형이 다르 므로 1과 3은 a를 공유한다. 즉 1이 a를 가지므로, 1은 Aa이고, 7의 핵형은 정상이므로 7은 AA이다. 따라서 (가)는 열성 일반 유전이다.
- ⑤ 2가 aa이므로 4는 Aa이고, 5는 aa인데, 7이 AA이므 로, 비분리는 A와 a가 존재하는 21번 염색체에서 일어났 다. 이때 4의 감수 2분열에서 비분리가 일어나서 4는 7 에게 AA를 물려주었고, 5는 7에게 21번 염색체를 물려주 지 않았다.
- ⑥ 비분리는 1회만 일어났으므로 7번 염색체에서는 돌연 변이가 일어나지 않았다. 1과 7 중 한 명은 GG이므로 4 는 EG로 확정된다. 자동으로 6은 EF가 된다. 이때 4가 EG에서 1과 7은 모두 FF가 될 수 없으므로 5가 FF이다. 5가 FF이므로 7이 FG, 1이 GG가 되어야 한다.

- ㄱ. (가)는 열성 형질이다. (○)
- ㄴ. 5의 (나)의 유전자형은 FF로, 동형 접합성이다. (○)
- ㄷ. ㉠의 형성 과정에서 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (○)

22. 2022학년도 9월 평가원 모의고사 19번 (답: ㄱ, ㄷ)

- ① (가)에 대해서 아버지는 병인데 자녀 1(딸)은 정상이므로 (가)는 우성 X 염색체 반성 유전이 아니다. 따라서 (가)는 열성 X 염색체 반성 유전이다.
- ② 아버지가 감수 1분열을 통해 X 염색체와 Y 염색체를 모두 물려주어 핵형이 정상인 아들이 태어났거나, 감수 2분열을 통해 X 염색체를 2개 물려주어 핵형이 정상인 딸이 태어난 경우, 이들의 표현형은 아버지와 같아야 한다. 하지만 자녀 3과 자녀 4의 (가)~(다)의 표현형은 아버지와 모두 같지는 않으므로, 어머니가 감수 1분열 또는 감수 2분열을 통해 X 염색체를 2개 물려주어 핵형이 정상인 딸이 태어났음을 알 수 있다. 즉 ㉠은 아버지의 생식세포이고, ㉡은 어머니의 생식세포이며, 자녀 3과 자녀 4 중 딸은 돌연변이이고, 아들은 정상이다.
- ③ 자녀 2가 H_Y이므로 어머니는 H를 갖는다. 그런데 어머니는 자녀 3과 자녀 4에게 X 염색체를 무조건 1개 이상 주므로, 어머니가 HH라면 (가)에 대해서 병인 자녀 3은 태어날 수 없다. 따라서 어머니는 Hh이다. 그런데 정상 아들인 자녀 2가 어머니로부터 H를 물려받았고, 자녀 3과 자녀 4는 자녀 2와 (다)에 대한 표현형이 다르므로, 자녀 3과 자녀 4 중 정상인 아들은 어머니로부터 h를 물려받아야 한다. 따라서 자녀 3이 정상 아들이고, 자녀 4가 돌연변이 딸이다.
- ④ 아버지가 h_Y이고 어머니가 Hh인데 자녀 1은 Hh이고 자녀 2는 H_Y이므로, 자녀 1과 자녀 2는 어머니로부터 H가 있는 X 염색체를 같이 물려받는다. 그런데 자녀 1과 자녀 2의 (나)와 (다)의 표현형이 서로 다르므로, 이 X 염색체에서 H와 연관된 (나)와 (다)의 유전자는 열성 유전자인 r와 t이다. 즉 자녀 2는 (Hrt)/Y 인데 (나)와 (다)에 대해 모두 정상이므로, (나)와 (다)는 모두 우성 형질이다. (자녀 2와 자녀 3에서 ○/x로 (나)와 (다)의 병 유전자를 표현한 후 자녀 1을 통해 (나)와 (다)가 우성 형질임을 보여도 된다.)
- ⑤ 자녀 2가 (Hrt)/Y 이고 자녀 3이 (hrT)/Y 이므로 어머니는 (Hrt)/(hrT) 이다. 이때 자녀 4는 H와 T를 모두 가져야 하므로, 어머니에서 비분리는 감수 1분열에서 일어났다.

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

23. 2022년 4월 교육청 모의고사 19번 (답: ㄱ)

- ① (가)의 우열 관계는 D > E > F 이다. 아버지는 ㉠㉡이고, 어머니는 ㉢㉣이다. 자녀 2와 자녀 3은 모두 ㉠을 2개 갖는데 표현형이 서로 다르므로, 둘 중 한 명이 비분리가 일어나서 태어난 자손이다. 즉 자녀 1은 정상 자손이므로, 자녀 1은 ㉡㉣이다.
- ② 아버지와 자녀 1의 표현형은 ㉢로 같으므로, ㉡이 ㉠과 ㉣에 대해서 모두 우성이다. 즉 ㉡은 D이고, ㉢는 D이다. 한편 ㉠과 ㉣은 E와 F 중 하나이므로 어머니는 EF이다. 이때 어머니의 표현형은 ㉢이므로 ㉢는 E이고, 남은 ㉣는 F이다.
- ③ 자녀 3의 표현형은 F(㉣)이므로 ㉠은 E일 수 없다. 따라서 ㉠은 F이고, 남은 ㉣은 E이다. 이때 자녀 2는 F(㉠)을 2개 가지는데도 표현형이 E(㉢)이므로, 자녀 2는 EFF, 즉 비분리가 일어나서 태어난 자손이다.
- ④ 아버지는 DF(㉠㉡), 어머니는 EF(㉢㉣)인데 비분리는 아버지에게서 일어났으므로, 아버지는 감수 2분열에서 비분리가 일어나서 자녀 2에게 FF를, 어머니는 자녀 2에게 E를 물려주었다.

- ㄱ. ㉡은 D이다. (○)
 ㄴ. 자녀 2에서 체세포 1개당 ㉣(E)의 DNA 상대량은 1이다. (x)
 ㄷ. P가 형성될 때 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (x)

24. 2022년 10월 교육청 모의고사 18번 (답: ㄱ, ㄷ)

- ① 자녀 1은 A형이므로, 응집 여부가 '응집됨'인 사람은 응집소 α를 갖는 B형 또는 O형, '응집 안 됨'인 사람은 응집소 α를 갖지 않는 A형 또는 AB형이다.
- ② 아버지와 어머니의 응집 여부가 같고, 자녀 2와 자녀 3의 응집 여부가 같다. 자녀 1이 A형이어서 부모 중에도 A를 가지는 사람이 있어야 하므로(또는 비분리가 일어나더라도 B형과 O형 사이에서 A형이나 AB형이 태어날 수는 없으므로) ㉢는 '응집 안 됨'이고, ㉣는 '응집됨'이며, 아버지와 어머니의 혈액형은 각각 AB형과 A형 중 하나이고, 자녀 2와 자녀 3의 혈액형은 각각 B형과 O형 중 하나이다.
- ③ 적록 색맹은 열성 X 염색체 반성 유전이다. 적록 색맹에 대한 정상 유전자를 D, 병 유전자를 d라고 하자. 구성원 중 자녀 2만 적록 색맹이 나타나므로, 아버지는 DY, 어머니는 Dd이고, 자녀 2는 dd이며, 어머니의 감수 2분열에서 비분리가 일어나야 한다. 즉 I의 핵상은 n-1이고, II의 핵상은 n+1이다. 자동으로 III의 핵상은 n-1, IV의 핵상은 n+1이 된다.
- ④ AB형과 A형 사이에서 O형은 정상적으로 태어날 수 없으므로, 자녀 3이 O형이고, 자녀 2가 B형이다. 이때 부모 중 A형인 사람이 A0이면서 감수 2분열 비분리를 통해 자녀 3에게 O를 2개 주어야 하는데, IV의 핵상이 n+1이므로, 어머니가 A형이고, 아버지가 AB형이다.

가. 세포 1개당 X 염색체 수는 III이 1개, I이 0개로, III이 I보다 크다. (○)

나. 아버지의 ABO식 혈액형은 AB형이다. (x)

다. IV가 형성될 때 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (○)

25. 2023학년도 수능 17번 (답: ㄱㄴ)

① 어머니는 ㉠~㉣를 모두 가지므로 Hh, Tt이다. 즉 ㉤은 2이다.

② 아버지는 ㉠~㉣ 중 3개를 가지므로 아버지의 H/h와 T/t에 대한 유전자형 중 하나는 이형 접합이고, 하나는 동형 접합이다. 그런데 자녀 1이 ㉡를 갖지 않고, 자녀 2가 ㉣를 갖지 않으므로, 아버지는 ㉡㉡나 ㉣㉣가 아닌 ㉠㉠여야 한다. 즉 ㉠과 ㉣가 대립 유전자이고, ㉡와 ㉣가 대립 유전자이다. 또한 아버지는 ㉠㉠, ㉡㉣이므로 ㉠은 1 또는 3이다.

③ H/h와 T/t는 모두 상염색체에 있으므로 자녀 1은 ㉠~㉣ 중 최소 2개를 가져야 한다. 따라서 자녀 1은 ㉠㉠, ㉣㉣이다. 이때 ㉤은 2가 될 수 없으므로, ㉠과 ㉣는 모두 대문자이거나, 모두 소문자이다. 즉 ㉤은 0 또는 4이다.

④ 모든 가족 구성원은 ㉡를 갖는데, 가족 구성원 중 표현형이 (0)인 사람이 있어야 하므로, ㉡는 소문자여야 한다. 자동으로 ㉣도 소문자가 된다. ㉠을 h, ㉣를 t라고 하면, ㉡는 T, ㉢는 H가 된다. 즉 아버지는 hh, Tt이므로 ㉠은 1이고, 자녀 1은 hh, tt이므로 ㉤은 0이다. 남은 ㉢과 ㉤은 3 또는 4가 된다.

⑤ 자녀 2는 h(㉡)를 가지므로 ㉤은 4가 아니라 3이다. 자동으로 ㉤은 4가 된다. 이때 아버지는 hh, Tt이고, 어머니는 Hh, Tt인데, 아버지에게서 비분리가 일어나서 표현형이 (4)인 자녀 3이 태어나려면, 아버지가 감수 2분열 비분리를 통해 자녀 3에게 T를 2개 물려주고, 어머니가 자녀 3에게 H와 T를 물려주어야 한다.

가. 아버지는 표현형이 (1)이므로, t를 갖는다. (○)

나. ㉡는 ㉣와 대립 유전자이다. (○)

다. 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (x)

6. 돌연변이 - ㉠ 구조 이상과 세포 분열 ~ ㉡ 구조 이상과 유전

[Part 1]

1. 2016년 7월 교육청 모의고사 15번 (답: ㄴ)

① 부모는 H와 H* 중 한 가지만 가지는데, 만약 (가)가 일반 유전이라면 부모는 각각 HH와 H*H* 중 하나여서 정상 자손인 형과 여동생의 (가)의 표현형이 다를 수 없다. 따라서 (가)는 X 염색체 반성 유전이다.

② 형이 HY이므로 어머니도 H를 갖는데, 어머니는 H와 H* 중 하나만 가지므로 HH이다. 따라서 여동생도 H를 갖는데, 여동생은 (가)에 대해서 병이므로 HH*이며, H*는 H에 대해 우성이다. 즉 (가)는 H*가 H에 대해 우성인 우성 X 염색체 반성 유전이다. 어머니가 HH인데 여동생이 HH*이므로 아버지는 H*Y이다.

③ 철수는 (가)에 대해서 정상이므로 H*를 갖지 않는다. 따라서 비분리는 어머니에서 일어났고, 철수는 어머니로부터 HH, 아버지로부터 Y를 받은 HHY이다.

④ 돌연변이가 일어나지 않았다면 누나는 아버지로부터 H*를 받아야 하는데, 누나는 (가)에 대해서 정상이므로 H*를 갖지 않는다. 즉, 누나는 아버지로부터 받은 X 염색체에 결실이 일어나서 H*를 갖지 않는 것이다. 따라서 누나는 H이다.

가. 어머니는 HH이므로 (가)에 대해서 정상이다. (x)

나. 철수는 HHY, 누나는 H이므로 체세포 1개당 H의 DNA 상대량은 철수가 누나의 2배이다. (○)

다. 비분리가 일어나 형성된 생식 세포는 정자가 아니라 난자이다. (x)

[Part 2]

2. 2019년 7월 교육청 모의고사 20번 (답: L C)

① (가)에 대해서 2와 3(부모)은 병인데 5와 6(자손)은 정상이고, 2(아빠)는 병인데 5(딸)는 정상이므로 (가)는 우성 일반 유전이다. (2와 5의 관계 대신 2와 1의 관계를 봐도 된다.) 또한 (라)에 대해서 2와 3(부모)은 정상인데 4와 6(자손)은 병이고, 1(엄마)은 병인데 2(아들)는 정상이므로 (라)는 열성 일반 유전이다.

② (가)와 (라)가 모두 일반 유전이므로 (가)의 유전자와 (라)의 유전자는 같은 상염색체에 연관되어 있다. 자동으로 (나)와 (다)는 모두 X 염색체 반성 유전이 된다. 이때 (나)에 대해서 2(아들)는 병인데 1(엄마)은 정상이므로 (나)는 열성 X 염색체 반성 유전이다. 또한 (다)에 대해서 1(엄마)은 병인데 2(아들)는 정상이므로 (다)는 우성 X 염색체 반성 유전이다. (1과 2의 관계 대신 3과 4의 관계를 봐도 된다.)

③ 1이 $\frac{A}{E}||\frac{a}{e}$ 이므로 2는 $\frac{A}{E}||\frac{a}{e}, \frac{b}{d}||Y$ 이다. 4는 2로부터 $\frac{a}{e}$ 를 물려받은 $\frac{A}{E}||\frac{a}{e}, \frac{B}{d}||Y$ 이고, 5는 2로부터 $\frac{a}{e}$ 와 $\frac{b}{d}$ 를 물려받은 $\frac{a}{e}||\frac{a}{e}, \frac{b}{d}||\frac{b}{d}$ 이므로, 3은 $\frac{A}{E}||\frac{a}{e}, \frac{B}{d}||\frac{b}{d}$ 이다.

④ 6은 (가)에 대해서 정상이고 (라)에 대해서 병이므로 A와 E를 모두 갖지 않는다. 그런데 3은 $\frac{A}{E}||\frac{a}{e}$ 이므로, ④는 3의 A 또는 E가 결실된 생식 세포이다. 한편 7은 (나)에 대해서 정상이고 (다)에 대해서 병이므로 B와 D를 모두 갖는다. 그런데 2는 $\frac{b}{d}||Y$ 이고 3은 $\frac{B}{d}||\frac{b}{d}$ 이므로, ⑥는 3의 감수 1분열 비분리에 의해 $\frac{B}{d}$ 와 $\frac{b}{d}$ 를 모두 갖는 생식 세포이다.

ㄱ. 3은 $\frac{A}{E}||\frac{a}{e}$ 로, A와 E가 연관된 염색체를 갖지 않는다. (x)

ㄴ. ④는 A 또는 E의 결실이 일어난 상염색체를 갖는다. (○)

ㄷ. ⑥는 감수 1분열에서 비분리가 일어나 형성된 난자이다. (○)

3. 2020년 4월 교육청 모의고사 17번 (답: L)

① ㉠은 b가 0인데 ㉡은 b가 1이므로 ㉠의 핵상은 n이고, ㉢은 B가 0인데 ㉣과 ㉤은 B가 0이 아니므로 ㉢의 핵상도 n이다. 자동으로 ㉣과 ㉤의 핵상은 2n이 된다. ㉢에는 1이 있는데, 비분리나 중복이 일어나더라도 n(2)에 1이 있을 수는 없으므로, ㉢은 n(1)인 IV이고, 남은 ㉠은 n(2)인 III이다.

② ㉣과 ㉤의 핵상은 모두 2n인데, 2n(4)의 DNA 상대량은 2n(2)의 2배이므로 ㉣이 2n(2)인 I이고, ㉤이 2n(4)인 II이다. 2n(4)인 ㉤(II)의 DNA 상대량이 2n(2)인 ㉣(I)의 2배임을 이용하면, ㉣(I, 2n(2))에서 A와 a의 합은 1이고, D와 d의 합은 2이다. 따라서 A와 a는 상염색체에, D와 d는 상염색체에 존재한다. 또한 ㉤(II, 2n(4))에서 d는 2이므로, ④는 2이다.

③ ㉢(I, 2n(2))에서 B가 2이므로 중복이 일어나지 않았다면 b가 0이어야 하는데, ㉢(IV)에 b가 존재하므로 ㉢(I)에서 b가 0일 수 없다. 따라서 I은 B의 중복이 일어난 염색체를 갖는다. I에 B와 b가 모두 있으므로 B와 b는 상염색체에 존재하고, 중복은 1회만 일어났으므로 ㉢은 1이다.

④ ㉢(IV)에서 B가 0이므로 B는 감수 1분열에서 왼쪽으로 물렸다. 따라서 ㉠(III)에서 B는 4이다. 즉 ④는 4이다. 단, 비분리가 일어난 것은 아니다. B와 b는 상염색체에 존재하는데, 비분리가 일어났다면 n(2)에서 [B, b]는 [4, 2] 또는 [0, 0]이 되었어야 한다. 한편 ㉢(I, 2n(2))에서 A는 0이므로 ㉢(IV, n(1))에서도 A는 0이다. 즉 ⑥는 0이다.

⑤ D와 d는 상염색체에 존재하는데 ㉠(III)에서 [D, d]는 [0, 0]이므로 ㉠(III)은 D와 d가 존재하는 상염색체를 정상보다 하나 덜 가지는 세포이다. 즉 감수 1분열에서 D와 d가 존재하는 상염색체의 비분리가 일어나서 오른쪽으로 물린 것이다.

⑥ ㉢(IV, n(1))에서 a가 2이므로 ㉢(IV)은 상염색체를 정상보다 하나 더 가지는 세포이다. 즉 오른쪽 감수 2분열에서 A와 a가 존재하는 상염색체의 비분리가 일어나서 오른쪽의 IV(㉢)로 물린 것이다.

ㄱ. ④+⑥+③+①=7 이다. (x)

ㄴ. P에서 a는 상염색체에 있다. (○)

ㄷ. 중복이 일어난 염색체는 B가 존재하는 염색체이다. 이 염색체를 I(㉢), II(㉤), III(㉠)은 갖고 있지만, IV(㉢)는 갖고 있지 않다. (x)

4. 2021년 10월 교육청 모의고사 19번 (답: ㄱ ㄷ)

① 아버지의 세포 ㉠~㉤을 관찰하면 아버지는 H와 R를 모두 갖는데, (가)에 대해서는 병이고 (나)에 대해서는 정상이므로, (가)는 우성 형질이고 (나)는 열성 형질이다.

② 아버지는 $\frac{H}{R}||Y$ 이고, 어머니는 $\frac{h}{r}||\frac{h}{r}$ 이다. 이때 아들 ㉢은 (가)와 (나)에 대해서 모두 병이므로 H와 r를 가져야 한다. 따라서 어머니는 $\frac{h}{R}||\frac{h}{r}$ 이고, 아들은 $\frac{h}{r}||Y$ 이면서 전자로 인해서 H를 가진다. 따라서 ㉠은 H이다.

③ 아버지는 $\frac{H}{R}||Y$ 이므로 I은 [H, R]가 [1, 1]이고 II는 [H, R]가 [2, 2]이다. 따라서 ㉢은 I이고 ㉤은 II이다. 이때 아들 ㉢은 III으로부터 형성된 정자가 수정되어 태어났으므로, III은 H를 가져야 한다. 따라서 ㉠은 III이고 ㉤은 IV이다.

ㄱ. ㉠은 III이다. (○)

ㄴ. ㉢은 H이다. (x)

ㄷ. ④는 H와 h를 모두 갖는다. (○)

5. 2022학년도 6월 평가원 모의고사 15번 (답: ㄱ)

① ③에서 T가 1이고 T*가 2이므로, ③가 태어날 때 아버지와 어머니 중 한 명의 T와 T*가 존재하는 염색체에서 비분리가 일어났다.

② ③에서 R가 2이고, 비분리는 T와 T*가 존재하는 염색체에서 일어났으므로 ③는 아버지와 어머니로부터 모두 R를 물려받는다. 그런데 ③에서 H*가 0이므로, ③는 아버지로부터 H*가 결실된 염색체를 물려받아야 한다. 즉 ㉠이 염색체 결실이므로, ㉡은 염색체 비분리이다.

③ ③는 아버지로부터 T*를 물려받는다. 그런데 ③에서 T가 1이고 T*가 2이므로, ③는 어머니로부터 T와 T*를 모두 1개씩 물려받아야 한다. 따라서 어머니의 T와 T*가 존재하는 염색체에서 비분리는 감수 1분열에서 일어났다.

ㄱ. 어머니는 ③에게 $\frac{H}{h}$ 를 물려주므로, 남자 Q에는 H가 있다. (○)

ㄴ. 생식세포 형성 과정에서 염색체 비분리는 감수 1분열에서 일어났다. (x)

ㄷ. ③는 비분리로 인해 어머니로부터 상염색체를 정상보다 하나 더 받으므로, ③의 체세포 1개당 상염색체 수는 45이다. (x)

6. 2022학년도 수능 17번 (답: ㄱ)

① V는 ㉠, ㉡, ㉢이 모두 있는 세포, 즉 0, 1, 2가 모두 있는 세포이다. V가 정상 세포라면 V는 2n(2)인데, Q가 AabbDd이므로 이 경우 V에서 A와 a가 1로 같아야 하지만, V에서 A와 a는 ㉠과 ㉢으로 서로 다르므로 모순이다. 따라서 V는 돌연변이가 일어나서 형성된 세포이고, 자동으로 IV와 VI은 정상 세포가 된다. 즉 ㉣는 V이다.

② IV는 정상 세포인데, D와 d가 ㉢으로 같다. D와 d는 상염색체 유전자이므로 ㉢이 0일 수는 없고, ㉢이 2라면 IV에서 D와 d의 합이 4여서 IV는 2n(4)가 되는데, Q가 AabbDd이므로 이 경우 IV에서 b가 4여야 하지만, IV에서 b는 2이므로 모순이다. 따라서 ㉢은 1이다. 이때 IV에서 D와 d가 모두 1이므로, IV는 2n(2)이다.

③ Q는 bb이므로 VI에서 B는 0인데, B와 b는 상염색체 유전자이고 VI은 정상 세포이므로 VI에서 b는 0이 될 수 없다. 즉 ㉣이 0이 아니므로 ㉣은 2이고, 자동으로 ㉡은 0이 된다.

④ I에서 상염색체 유전자인 D와 d가 모두 0이므로, I은 돌연변이가 일어나서 형성된 세포이고, 자동으로 II와 III은 정상 세포가 된다. 즉 ㉢는 I이다.

⑤ ㉠, ㉡, ㉢에 2, 0, 1을 대입해 보면, P가 AaBbDd이고 Q가 AabbDd이므로 정상 세포인 II, III, VI은 핵상이 2n이 될 수 없다. 즉 II, III, VI의 핵상은 n인데, II와 VI은 2가 있으므로 n(2)이고, III은 1이 있으므로 n(1)이다.

⑥ I과 V만 돌연변이가 일어나서 형성되었고, II는 n(2), III은 n(1), IV는 2n(2), VI는 n(2)이며, A/a, B/b, D/d는 모두 상염색체에 있다는 것을 이용해서 표를 최대한 채우면 다음과 같다.

사람	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
P	I	0	1	?	1	0	0
	II	2	0	2	0	2	0
	III	1	0	0	1	1	0
Q	IV	1	1	0	2	1	1
	V	0	1	0	2	1	?
	VI	2	0	0	2	0	2

⑦ P가 AaBbDd이고 II와 III은 정상 세포인데 II는 A"B"D"이고 III은 AbD이므로 A/a와 B/b는 연관이 아니고, B/b와 D/d도 연관이 아니다. 따라서 A/a와 D/d가 연관이다. 이때 정상 세포인 II와 III에 A와 D가 함께 있으므로 P는 $\frac{A}{D} || \frac{a}{d}$, Bb이고, 정상 세포인 VI에 A와 d가 함께 있으므로 Q는 $\frac{A}{d} || \frac{a}{D}$, bb이다.

⑧ P는 a와 d가 연관되어 있는데, I에서 d는 1이고 d는 0이다. 따라서 I은 비분리가 일어나서 형성된 세포가 아니고, 결실이 일어나서 형성된 세포이다. 자동으로 V는 비분리가 일어나서 형성된 세포가 된다. 이때 V는 1이 있으므로 n(1)이며, b가 2이므로 B/b가 있는 염색체에서 비분리가 일어난 것이다.

ㄱ. (가)의 유전자(A/a)와 (다)의 유전자(D/d)는 같은 염색체에 있다. (○)

ㄴ. IV는 정상 세포이다. (x)

ㄷ. ③(I)에서 a는 1이고, ⑥(V)의 A/a와 D/d가 있는 염색체에서는 돌연변이가 일어나지 않았으므로, ⑥(V)에서 d는 0이다. 따라서 ③(I)에서 a의 DNA 상대량과 ⑥(V)에서 d의 DNA 상대량은 서로 다르다. (x)

7. 2022년 7월 교육청 모의고사 20번 (답: ㄱㄷ)

① (가)의 우열 관계는 A = a 이고, (나)의 우열 관계는 F > E > D > B 이다.

② 어머니는 Aa, 자녀 I은 AA, 자녀 III은 Aa이고, 결실된 유전자는 (나)의 유전자이므로 자녀 IV는 aa이다. 자녀 I이 AA이고 자녀 IV가 aa이므로 아버지는 Aa이다.

③ 자녀 IV의 (나)에 대한 표현형은 ㉢이므로 자녀 IV는 $\frac{a}{\text{결실}} || \frac{a}{\text{결실}}$ 이다. 자녀 IV가 태어날 때 결실은 정자에서 일어났으므로 자녀 IV의 $\frac{a}{\text{결실}}$ 은 어머니로부터 왔다. 이때 어머니의 (나)에 대한 표현형은 ㉡이므로 어머니는 $\frac{A}{\text{결실}} || \frac{a}{\text{결실}}$ 이고, ㉡은 ㉢에 대해 우성이다.

④ 자녀 I은 AA이므로 어머니로부터 $\overset{A}{\ominus}$ 를 받는데, 자녀 I의 (나)에 대한 표현형은 \ominus 이므로 자녀 I은 $\overset{A}{\ominus}||\overset{A}{\ominus}$ 이고, \ominus 은 \ominus 에 대해 우성이다.
 ⑤ 아버지는 $|^A_{\ominus}$ 을 갖는다. 그런데 자녀 III의 (나)의 표현형이 \ominus 이므로 아버지는 $\overset{A}{\ominus}||\overset{a}{\ominus}$ 이고, 자녀 III은 아버지로부터 $|^a_{\ominus}$ 을, 어머니로부터 $\overset{A}{\ominus}$ 을 물려받은 $\overset{A}{\ominus}||\overset{a}{\ominus}$ 이다. 그런데 아버지의 (나)에 대한 표현형은 \ominus 이므로 \ominus 은 \ominus 에 대해 우성이고, 자녀 III의 (나)에 대한 표현형은 \ominus 이므로 \ominus 은 \ominus 에 대해 우성이다. (나)의 우열 관계를 종합하면 $\ominus > \ominus > \ominus > \ominus$ 이므로, \ominus 은 F, \ominus 은 E, \ominus 은 D, \ominus 은 B이다.

가. 결실된 유전자인 \ominus 는 아버지의 a와 연관된 \ominus , 즉 E이다. (○)

나. 자녀 II의 (나)의 표현형은 \ominus (F)이므로 아버지로부터 $\overset{A}{\ominus}||\overset{A}{\ominus}$ 을 받아야 한다. 따라서 자녀 II의 (가)에 대한 유전자형은 AA 또는 Aa이다. (x)

다. 아버지는 $\overset{A}{F}||\overset{a}{E}(\overset{A}{\ominus}||\overset{a}{\ominus})$ 이고, 어머니는 $\overset{A}{D}||\overset{a}{B}(\overset{A}{\ominus}||\overset{a}{\ominus})$ 이다. 아버지와 어머니 사이에서 태어난 아이의 표현형이 아버지와 같은 Aa, F일 확률은 아버지가 $\overset{A}{F}$, 어머니가 $|^a_{\ominus}$ 를 자손에게 물려줄 확률과 같은 1/4이다. (○)

8. 2023학년도 9월 평가원 모의고사 18번 (답: ㄱ)
 ※ A*는 a로, B*는 b로, D*는 d로 표기함.

① I은 B와 b의 합이 1이므로 n(1)이다. 따라서 아버지는 B와 D를 모두 갖는다. III은 1과 2가 모두 있으므로 2n(2)이다. 따라서 자녀 1은 $\overset{A}{B}||\overset{A}{b}$, DD이고, 아버지와 어머니는 모두 A와 D를 갖는다. 그런데 II는 A가 0이고 2가 있으므로 n(2)이다. 따라서 어머니는 $|^a_{\ominus}$, d를 갖는다. 즉 어머니는 $\overset{A}{?}||\overset{a}{\ominus}$, Dd이다.

② 어머니가 $\overset{A}{?}||\overset{a}{B}$ 인데, IV는 A와 B가 모두 0이고 2가 있으므로 n(2)이다. 따라서 자녀 2는 $|^a_{\ominus}$, d를 갖는다. 이때 자녀 2의 $|^a_{\ominus}$ 는 아버지로부터 와야 하는데, 아버지는 A와 B를 모두 가지므로 $\overset{A}{B}||\overset{a}{b}$ 이다. 이때 자녀 1의 $|^A_{\ominus}$ 는 어머니로부터 와야 하므로, 어머니는 $\overset{A}{?}||\overset{a}{B}$ 이다.

③ V는 d가 3이므로 2n(2)이다. 즉 자녀 3은 ddd인데, 전좌를 통해서 d를 정상보다 더 가질 수는 없으므로, 자녀 3이 태어날 때 어머니의 9번 염색체에서 비분리가 일어났다. 즉 자녀 3에게 아버지가 d를, 어머니가 dd를 물려준 것이므로, 아버지는 Dd이고, 비분리는 감수 2분열에서 일어났다.

④ 자녀 3은 어머니로부터 정상적으로 7번 염색체를 받았는데, V에 d가 없으므로 자녀 3은 어머니로부터 $\overset{A}{b}$ 를 받았다. 그런데 자녀 3은 a를 갖지 않고, b를 2개 가지므로 아버지로부터는 $\overset{A}{B}$ 를 받고, 전좌를 통해 b를 추가로 받아야 한다. 즉 \ominus 은 b이다.

가. \ominus 은 b이다. (○)

나. 어머니는 $\overset{A}{b}||\overset{a}{B}$, Dd이므로, 어머니에게서 A, B, D를 모두 갖는 남자는 형성될 수 없다. (x)

다. 염색체 비분리는 감수 2분열에서 일어났다. (○)

6. 돌연변이 - ⑩ 치환과 세포 분열 ~ ⑪ 치환과 유전

[Part 1]

1. 2021년 7월 교육청 모의고사 18번 (답: ㄱ)

① 어머니는 aa이고, 자녀 2는 bb이다. 자녀 2가 bb이므로 아버지는 b를 가지는데, 아버지(남자)는 B도 가지므로 (나)는 일반 유전이다. 자동으로 (가)는 X 염색체 반성 유전이 된다.

② 돌연변이에 대한 설명을 고려하면, 자녀 3은 AAY, BB이다. 그런데 어머니는 aa이므로 자녀 3에게 A를 물려주려면 어머니에게서 a가 A로 바뀌는 돌연변이가 일어나야 한다. 즉 \ominus 은 a이고 \ominus 은 A이다. 한편, 자녀 3이 가지는 나머지 AY는 아버지로부터 받은 것이 되므로, 아버지는 AY이고, 비분리는 아버지의 감수 1분열에서 일어났다.

가. \ominus 은 A이다. (○)

나. \ominus 가 형성될 때 염색체 비분리는 감수 1분열에서 일어났다. (x)

다. 아버지가 AY이고 어머니가 aa이므로 자녀 1은 aY이고 자녀 2는 Aa이다. 또한 표를 참고하면 자녀 1은 Bb이고 자녀 2는 bb이다. 따라서 구하는 분수 값은 자녀 1이 1, 자녀 2가 1/2로, 자녀 1이 자녀 2보다 크다. (○)

2. 2023학년도 6월 평가원 모의고사 19번 (답: L C)

① (가)에 대해서 아버지와 어머니는 정상인데 자녀 2는 병이고, 자녀 2(딸)는 병인데 아버지는 정상이므로 (가)는 열성 일반 유전자이다. 즉 AB0식 혈액형 유전자와 (가)의 유전자가 같은 염색체에 있다. 자동으로 (나)는 X 염색체 반성 유전이 되고, (나)에 대해서 자녀 3(딸)은 병인데 아버지는 정상이므로 (나)는 우성 X 염색체 반성 유전자이다.

② 아버지가 A형이고 자녀 2가 B형이므로 아버지는 A0, 자녀 2는 B0이고, 어머니가 B형이고 자녀 3이 A형이므로 어머니는 B0, 자녀 3은 A0이다. 자녀 2가 $\frac{B}{h}||\frac{O}{h}$ 이므로 아버지는 $\frac{A}{H}||\frac{O}{h}$ 이고 어머니는 $\frac{B}{h}||\frac{O}{H}$ 이다. 그런데 자녀 1은 $\frac{A}{h}||\frac{B}{h}$ 이므로, 아버지의 생식세포 형성 과정에서 H가 h로 바뀌는 돌연변이가 일어났다. 즉 ㉠은 H이고, ㉡은 h이다.

㉢. (나)는 우성 형질이다. (x)

L. ㉠은 H이다. (○)

C. 아버지는 $\frac{A}{H}||\frac{O}{h}$, tY이고, 자녀 2가 tt이므로 어머니는 $\frac{B}{h}||\frac{O}{H}$, Tt이다. 따라서 아버지와 어머니 사이에서 태어난 아이의 혈액형이 O형이면서 (가)가 발현되지 않을 확률은 1/4, 이 아이에게서 (나)가 발현되지 않을 확률은 1/2이므로 구하는 확률은 두 확률을 곱한 1/8이다. (○)

[Part 2]

3. 2021학년도 6월 평가원 모의고사 16번 (답: L C)

* A*는 a로, B*는 b로, D*는 d로 표기함.

① 오빠의 세포 II는 정상인데 1과 2를 모두 가지므로 2n(2)이다. 영희의 세포 III은 정상인데 4를 가지므로 2n(4)이다. 따라서 오빠는 $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$, DY이고 영희는 $\frac{A}{b}||\frac{A}{b}$, DD이다. 영희가 $\frac{A}{b}||\frac{A}{b}$, DD이므로 아버지와 어머니는 모두 $\frac{A}{b}$ 와 D를 가진다.

② 치환 돌연변이가 일어나도 유전자의 전체 개수는 변하지 않으므로, 1과 2를 모두 가지는 남동생의 세포 IV는 2n(2)이다. 따라서 남동생은 $\frac{a}{B}||\frac{a}{B}$, dY이다. 이때 돌연변이는 어머니의 생식 세포에서 일어났으므로 아버지는 $\frac{a}{B}$ 를 가진다. 즉 아버지는 $\frac{A}{b}||\frac{a}{B}$, DY이다. 이때 오빠는 아버지로부터 $\frac{a}{B}$ 를 물려받은 것이 되므로, 어머니로부터는 $\frac{A}{B}$ 를 물려받아야 한다. 어머니의 세포 I에 d가 있으므로, 어머니는 $\frac{A}{B}||\frac{A}{b}$, Dd가 된다.

③ 남동생은 어머니로부터 $\frac{a}{B}$ 를 물려받아야 하는데, 어머니는 $\frac{a}{B}$ 를 갖지 않는다. 따라서 어머니의 생식 세포 형성 과정에서 $\frac{A}{B}$ 의 A가 a로 바뀌는 돌연변이가 1회 일어나서 $\frac{a}{B}$ 가 되고, 이를 남동생에게 물려주어야 한다. 즉 ㉠은 A, ㉡은 a이다.

㉢. 어머니가 $\frac{A}{B}||\frac{A}{b}$, Dd 이므로, I이 G₁기 세포(2n(2))라면 [A, B, d]가 [2, 1, 1]이어야 한다. 따라서 I은 G₁기 세포가 아니다. I은 정확히는 n(2)이다. (x)

L. ㉠은 A이다. (○)

C. 아버지는 $\frac{A}{b}||\frac{a}{B}$, DY이므로 아버지에서 a, B, D를 모두 갖는 정자가 형성될 수 있다. (○)

4. 2021학년도 수능 17번 (답: ㄱ)

① (가)의 우열 관계는 D > E > F > G 이다. 1과 2 사이에서 나온 자손의 표현형의 종류가 3가지이므로 1과 2의 유전자형은 모두 이형 접합이다. 또한 3, 4, 5, 6의 표현형이 모두 다르므로 3, 4, 5, 6 중 한 명은 GG여야 하는데, DNA 상대량 표를 참고하면 3, 4, 5는 모두 GG일 수 없다. 따라서 6은 GG이다.

② 6의 표현형이 G이므로 3, 4, 5의 표현형은 D, E, F 중 하나이다. 즉 1과 2에는 대립 유전자 D, E, F가 모두 존재해야 한다. 이때 1에는 G가 1개 있으므로, 1이 DG이면 2는 EF이고, 1이 EG이면 2는 DF이며, 1이 FG이면 2는 DE이다. 1이 DG이고 2가 EF이면 G를 갖지 않는 3과 5가 각각 DE와 DF가 되어야 하는데, 3과 5의 표현형은 다르므로 모순이다. 1이 FG이고 2가 DE이면 자손의 표현형이 D와 E의 2가지만 나올 수 있으므로 모순이다. 따라서 1은 EG이고 2는 DF이다.

③ G를 갖지 않는 3과 5는 각각 DE와 EF 중 하나, 즉 표현형이 D와 E 중 하나이므로, 4는 표현형이 F인 FG가 되어야 한다. 1이 EG이고 4가 FG이며 6이 GG인데 7은 G를 하나 가지면서 유전자형이 2, 4, 6과 모두 달라야 하므로 7은 DG이다. 따라서 5는 D를 가져야 하므로 DE이고, 3은 자동으로 EF가 된다.

⑤ 2의 표현형은 D인데 2와 8의 표현형은 같으므로 8의 표현형도 D이다. 그런데 2가 DF이고 5가 DE이며 7이 DG인데 8은 유전자형이 2, 5, 7과 모두 달라야 하므로 8은 DD이다. 즉, 6의 생식세포 형성 과정에서 G가 D로 바뀌는 돌연변이가 일어났다. 따라서 ㉠은 G이고 ㉡은 D이다.

㉢. 5(DE)와 7(DG)의 표현형은 D로 같다. (○)

L. ㉢은 6에서 형성되었다. (x)

C. 2~8 중 1(EG)과 표현형이 같은 사람, 즉 표현형이 E인 사람은 3(EF), 즉 1명이다. (x)