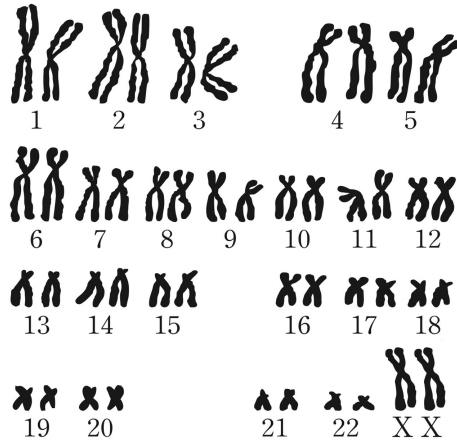


염색체와 유전 물질

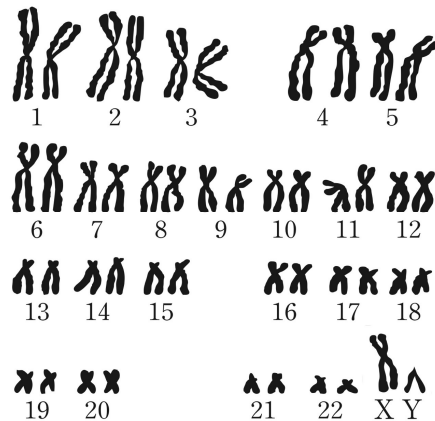
7) 유전체

한 개체가 가진 모든 염색체를 구성하는 DNA에 저장된 유전 정보 전체

[여자의 염색체 구성]



[남자의 염색체 구성]



학습의 영역

학(學) : Remark, comment, 해설지 내 논리
습(習) : 스스로 단권화

[Remark 3] 문제에서 “1번 염색체 그림”을 점선 ㉠으로 지칭한 후 “㉠은 유전체이다” 라고 하면 틀린 선지이다. 유전체는 “모든” 염색체를 구성하는 DNA에 저장된 유전 정보 전체이기 때문이다.

[Remark 4] 모든 과학탐구 과목에서 정의가 중요하지만, 특히나 생명과학은 단어 하나하나의 의미를 제대로 알고 시험장에 가는 게 맞다. 또한 충분한 모의고사 연습을 통해 다양한 상황을 접하고, 위와 같은 상황에 어떻게 대처할지 행동 강령을 정립해두도록 하자.

세포 그림 추론
Schema 9

일부 염색체

[중요도 ★★★★★]

- 일부 염색체를 감춘 후 개체를 구분하는 문항이 출제된다.

1) X염색체 제외

암컷

	염색체 수
2n 세포	$2k - 2$
n 세포	$k - 1$

핵상이 $2n$ 인 세포가 염색체 수가 짝수라면 X염색체를 제외한 상황이다.

이때 세포 위에 핵상이 $2n$ 이라면 $2k$ 를 핵상이 n 이라면 k 를 적어두면 도움이 된다.

같은 종의 세포라면 염색체 수는 서로 배수 관계에 있어야 한다.

수컷

	염색체 수
2n 세포	$2k - 1$
n 세포 (X)	$k - 1$
n 세포 (Y)	k

핵상이 $2n$ 인 세포가 염색체 수가 홀수라면 수컷의 세포이고

염색체 수가 홀수일 때 상동 염색체가 있으면 $2n$ 세포 상동 염색체가 없으면 n 세포 (X)이다.

이때 세포 위에 핵상이 $2n$ 이라면 $2k$ 를 핵상이 n 이라면 k 를 적어두면 도움이 된다.

2) Y 염색체 제외

암컷

	염색체 수
2n 세포	$2k$
n 세포	k

핵상이 $2n$ 인 세포가 염색체 수가 짝수라면 암컷의 세포이다,

이때 세포 위에 핵상이 $2n$ 이라면 $2k$ 를 핵상이 n 이라면 k 를 적어두면 도움이 된다.

같은 종의 세포라면 염색체 수는 서로 배수 관계에 있어야 한다.

수컷

	염색체 수
2n 세포	$2k - 1$
n 세포 (X)	k
n 세포 (Y)	$k - 1$

핵상이 $2n$ 인 세포가 염색체 수가 홀수라면 수컷의 세포이고

염색체 수가 홀수일 때 상동 염색체가 있으면 $2n$ 세포 상동 염색체가 없으면 n 세포 (X)이다.

이때 세포 위에 핵상이 $2n$ 이라면 $2k$ 를 핵상이 n 이라면 k 를 적어두면 도움이 된다.

DNA 상대량 추론
Schema 6

비교 해석

[중요도 ★★★★★]

- 두 칸 이상의 DNA 상대량을 서로 비교하여 정보를 추출할 수 있다.
이때 비교 해석의 전제는 같은 개체의 세포 내에서 행해야 한다는 것이다.

(만약 두 개체 이상의 세포가 주어질 경우, 같은 개체의 세포끼리 묶은 후 비교 해석을 행해야 한다.)

[비교 해석]

1) 같은 개체 내 한 세포에서 DNA 상대량이 0이 아닌 유전자가 다른 어떤 세포에서 DNA 상대량이 0이라면, DNA 상대량이 0인 세포는 핵상이 n 이다.

(= n 인 핵상 판단)

대립유전자 세포	A	a	B	b	D	d	E	e	F	f
㉠ : G ₁ 기	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0
㉡ : M ₁ 기	2	2	4	0	2	0	0	2	2	0
㉢ : M ₂ 기 - X	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0
㉣ : M ₂ 기 - Y	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0
㉤ : 생식 세포 - X	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
㉥ : 생식 세포 - Y	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0

(∵ 그 개체가 갖는 어떤 대립유전자라도 ㉣세포 내에 없다면 ㉣의 핵상은 n 이다.)

2) 대립유전자가 2종류 모두 있으면, 세포의 핵상은 $2n$ 이다.

(= $2n$ 인 핵상 판단)

특징 세포	A	a	B	b	D	d	E	e	F	f
㉠ : G ₁ 기	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0
㉡ : M ₁ 기	2	2	4	0	2	0	0	2	2	0
㉢ : M ₂ 기 - X	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0
㉣ : M ₂ 기 - Y	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0
㉤ : 생식 세포 - X	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
㉥ : 생식 세포 - Y	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0

DNA 상대량 추론
Schema 15

수정 과정

[중요도 ★★]

- 두 개체의 세포가 등장했을 때 전체 줄에서 비교 해석을 통한 핵상 판단이 불가했던 것처럼 정자, 난자, 수정란의 세 사람 이상의 세포가 등장하므로 함부로 핵상을 판단할 수 없다.
- 정자의 유전자 구성과 난자의 유전자 구성이 합쳐져 수정란의 유전자형이 되는 유전의 원리를 적절히 활용하여 주어진 조건을 해석하도록 하자. 구성원 중 자식은 아버지의 유전자와 어머니의 유전자를 각각 절반씩 받아 태어난다.
- 정자, 난자, 수정란 중 2개의 정보를 알면 나머지 하나의 정보를 알 수 있다. 이때 연역적으로 풀어가든 귀납적으로 풀어가든, 정자 난자 수정란에 대한 표를 새로 그리면 유용한 경우가 많다.
- 발문에 정자라는 표현이 사용되면 모세포와 그 세포는 아버지의 세포, 난자라는 표현이 사용되면 모세포와 그 세포는 어머니의 세포이다.
- 4개의 줄 중 3개의 줄에 DNA 상대량 10이 나타나면 주로 양극단 세포와 수정란이 포함되고, 나머지 1개의 줄이 중기 세포로 결정되는 논리가 사용되곤 한다.
- ㉠ 수정란에 없는 대립유전자는 생식세포(난자 또는 정자)에도 없고, 생식세포의 상위 세포에도 ㉠가 없다. 단, 생식세포의 상위 세포 중 핵상이 2n인 세포와 반대 계열 세포는 알 수 없다.
- 유전자형이 결정되어 있는 문항의 경우 유전자형으로부터 쪽 상대량을 예측한 후 표와 비교하는 게 더 빠를 수도 있다. (S 관점)
- 2n, 2 세포가 2n, 4 세포로 갈 때 유전적 구성은 변하지 않고, DNA 상대량만 2배가 되며 n, 2 세포가 n, 1 세포로 갈 때 유전적 구성은 변하지 않고, DNA 상대량만 반감된다.
즉, 생식세포 형성 과정에서 쪽 분열되는 과정이라면
(예 - (가)에서 (나)가 형성되고, (나)에서 (다)가 형성되고, (다)에서 (라)가 형성되는)
2n, 2에서 2n 4로 되거나 n, 2에서 하위 n, 1 세포로 가는 경우
DNA 상대량이 일렬로 나타나므로 2n이 n이 되는
감수 1분열 과정에서 유전자 이동만 판단해주면 된다.
- 쪽 분열되는 과정과 난자(정자) 형성 과정이라고 주어지는 경우를 구분해서 해제하도록 하자. (정자는 감수 1분열 과정만 변수, 후자는 감수 1분열과 좌우 영역 모두 변수)
- 태어난 개체의 체세포는 수정란 취급해서 풀어주면 된다. 이때 수정란의 상태는 2n, 2 또는 2n, 4이다.

유전자 유무 추론
Schema 7

상하 대응

[중요도 ★★★]

- 핵상이 n인 세포에서 ○이면 핵상이 2n인 세포에서 ○이다.

세포	특징	핵상	핵 1개당 DNA 상대량	유전자형	유전자 유무			
					A	a	B	b
⊕ : G ₁ 기		2n	2	Aa	○	○	×	○
⊖ : M ₁ 중기		2n	4	Aa (× 2)	○	○	×	○
⊙ : M ₂ 중기		n	2	AA 또는 aa	×	○	×	○
⊗ : M ₂ 중기		n	2	aa 또는 AA	○	×	×	○
⊘ : 생식세포		n	1	A 또는 a	×	○	×	○

- 핵상이 2n인 세포에서 ×이면 핵상이 n인 세포에서 ×이다.

세포	특징	핵상	핵 1개당 DNA 상대량	유전자형	유전자 유무			
					A	a	B	b
⊕ : G ₁ 기		2n	2	Aa	○	○	×	○
⊖ : M ₁ 중기		2n	4	Aa (× 2)	○	○	×	○
⊙ : M ₂ 중기		n	2	AA 또는 aa	×	○	×	○
⊗ : M ₂ 중기		n	2	aa 또는 AA	○	×	×	○
⊘ : 생식세포		n	1	A 또는 a	×	○	×	○

형질 교배
Schema 7

연산 법칙

[중요도 ★★★]

- 독립 법칙에 의해 두 염색체의 교배 사건은 서로 영향을 미치지 않는다.
- 그에 따라 교배 양상을 적절히 다항식으로 표현할 수 있다.
- 교배 양상에서 분배법칙과 결합법칙이 성립한다.

유전자형이 Aa인 식물 개체 P의 교배를 다음과 같이 표현할 수 있다.

[A] : [a] = 3 : 1

	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">생식세포</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">a</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">생식세포</td> <td style="text-align: center;">AA</td> <td style="text-align: center;">Aa</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">Aa</td> <td style="text-align: center;">aa</td> </tr> </table>	생식세포	A	a	생식세포	AA	Aa	a	Aa	aa
생식세포	A	a								
생식세포	AA	Aa								
a	Aa	aa								
유전자 좌위	퍼넷 사각형									

이때 교배 양상을 $(A + a) \times (A + a)$ 와 같이 더하기와 곱하기로 나타낼 수 있다.
이는 분리 법칙과 독립 법칙이 성립하기 때문이다.

또한 연산에서 분배법칙과 결합법칙이 성립하므로 교배의 순서는 자유롭다.

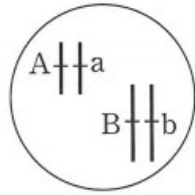
형질 교배

형질 교배
Schema 7

연산 법칙

유전자형이 AaBb인 식물 개체 P의 교배를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 9 : 3 : 3 : 1$$



유전자 좌위

생식세포 생식세포	AB	Ab	aB	ab
AB	A_B_	A_B_	A_B_	A_B_
Ab	A_B_	A_bb	A_B_	A_bb
aB	A_B_	A_B_	aaB_	aaB_
ab	A_B_	A_bb	aaB_	aabb

퍼넷 사각형

이때 교배 양상을 $(A + a) \times (A + a) \times (B + b) \times (B + b)$ 와 같이 더하기와 곱하기로 나타낼 수 있다. 이는 분리 법칙과 독립 법칙이 성립하기 때문이다.

또한 연산에서 분배법칙과 결합법칙이 성립하므로 교배의 순서는 자유롭다.

따라서 다음과 같이 한 형질의 유전자형을 토대로 새로운 교배 표를 작성할 수 있다.

생식세포 생식세포	BB	Bb	Bb	bb
AA	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb
Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb
Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb
aa	aaB_	aaB_	aaB_	aabb

변형된 퍼넷

비중	유전자형	비중	1	2	1
비중	유전자형	BB	Bb	bb	
1	AA	A_B_	A_B_	A_bb	
2	Aa	A_B_	A_B_	A_bb	
1	aa	aaB_	aaB_	aabb	

비중 표

변형된 퍼넷은 유전자형 분포가 정갈하다는 장점이 있고

비중 표는 변형된 퍼넷의 장점을 유지하면서 칸 수가 더 적다는 장점이 있다.

순수 다인자
Schema 11

유전자형 조건

[중요도 ★★★]

- 유전자형 조건 존재성 조건이 등장하면 해당 유전자형을 활용하여 적절히 염색체 지도를 채우고 시작할 수 있다.
- 유전자형에 대한 확률 조건이 등장하면 적절히 단위 확률을 분할해서 생각할 수 있다.

[22학년도 6평]

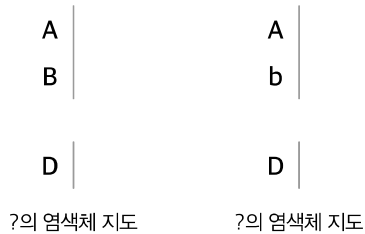
다음은 사람의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (가)는 서로 다른 2개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며, A, a, B, b는 7번 염색체에 있다.
- (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (가)의 표현형이 서로 같은 P와 Q 사이에서 ①가 태어날 때, ①에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 5가지이고, ①의 표현형이 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{8}$ 이며, ①의 유전자형이 AABbDD일 확률은 $\frac{1}{8}$ 이다.

①가 유전자형이 AaBbDd인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

①의 유전자형이 AABbDD일 확률이 1/8이므로
부모의 독립 염색체는 각각 D를 갖구
부모의 연관 염색체는 각각 AB와 Ab를 갖는다.

이는 일반성을 잃지 않으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.



기본 가계도
Schema 20

성상 판단

[중요도 ★★★★★]

- 상염색체 유전과 구별되는 성염색체 유전임을 판단하기 위해서는 Y 염색체의 존재성을 나타내는 추가 조건에 의해 규명된다.

대표적인 성상 판단 요소들은 다음이 있다.

1) 열성 DNA 상대량 1이 열성 형질을 발현 (열1열)

24학년도 6월 평가원, 24학년도 9월 평가원

다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해 각각 완전 우성이다.
○ (가)와 (나)는 모두 우성 형질이고, (가)의 유전자와 (나)의 유전자는 서로 다른 염색체에 있다.
○ 가계도는 구성원 1~8에 걸쳐서 (가)와 (나)의 발현 여부를 나타낸 것이다.

□ 정상 남자
● (가) 발현 여자
● (나) 발현 여자
▨ (가), (나) 발현 남자
○ (가), (나) 발현 여자

○ 표는 구성원 1, 2, 5, 8에서 체세포 1개당 a와 B의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. ①~④은 0, 1, 2를 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	1	2	5	8
DNA 상대량 a	1	①	②	?
B	?	?	③	④

24학년도 6평

다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해 각각 완전 우성이다.
○ (가)의 유전자와 (나)의 유전자는 서로 다른 염색체에 있다.
○ 가계도는 구성원 1~7에 걸쳐서 (가)와 (나)의 발현 여부를, 또는 구성원 1, 3, 6에서 체세포 1개당 ①과 B의 DNA 상대량을 더한 값(①+B)을 나타낸 것이다. ①은 A와 a 중 하나이다.

▨ (가) 발현 남자
▨ (나) 발현 남자
▨ (가), (나) 발현 남자
○ (가), (나) 발현 여자

구성원	①+B
1	2
3	1
6	2

24학년도 9평

2) 남성 구성원 DNA 상대량 합 1 (남합1)

18학년도 6월 평가원, 23학년도 수능

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

○ (가)는 대립 유전자 H와 H*에 의해, (나)는 대립 유전자 R과 R*에 의해 결정된다. H는 H*에 대해, R는 R*에 대해 각각 완전 우성이다.
○ (나)를 결정하는 유전자는 X 염색체에 존재한다.
○ 가계도는 구성원 ①을 제외한 나머지 구성원에 걸쳐서 (가)와 (나)의 발현 여부를 나타낸 것이다.

□ 정상 남자
▨ (가) 발현 남자
▨ (나) 발현 남자
▨ (가), (나) 발현 남자

○ 표는 구성원 ①~④에서 체세포 1개당 H와 H*의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. ①~④은 각각 1, 2, 4 중 하나이다.

구성원	①	②	③	④
DNA 상대량 H	1	?	?	2
H*	?	1	?	?

18학년도 6평

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

○ (가)의 유전자와 (나)의 유전자는 같은 염색체에 있다.
○ (가)는 대립유전자 A와 a에 의해 결정되며, A는 a에 대해 완전 우성이다.
○ (나)는 대립유전자 E, F, G에 의해 결정되며, E는 F, G에 대해, F는 G에 대해 각각 완전 우성이다. (나)의 표현형은 3가지이다.
○ 가계도는 구성원 ①을 제외한 구성원 1~5에 걸쳐서 (가)의 발현 여부를 나타낸 것이다.
○ 표는 구성원 1~5와 ①에서 체세포 1개당 E와 F의 DNA 상대량을 더한 값(E+F)과 체세포 1개당 F와 G의 DNA 상대량을 더한 값(F+G)을 나타낸 것이다. ①~④은 0, 1, 2를 순서 없이 나타낸 것이다.

□ 정상 남자
○ 정상 여자
▨ (가) 발현 남자

구성원	1	2	3	①	4	5
DNA 상대량 E+F	?	?	1	②	0	1
F+G	③	?	1	1	1	④

23학년도 수능

심화 가계도

심화 가계도
Schema 13

다인자 가계도

[중요도 ★★]

- 양극단 표현형 (특수 구성원) 이 가장 특수하고
다인자 가계도 돌연변이가 출제된다면 양극단 표현형이 출제될 것이다.
- 표현형 범위 압축 논리를 활용할 수 있다.
- 적절히 대문자 수의 유전자 위치 경우의 수가 1인 경우
1, 2, 3과 같은 대문자 수를 활용하여 다인자 염색체 지도를 채울 수 있다.
- 반성 다인자 가계도가 출제될 경우 Y 염색체가 관여하여
여성보다 남성의 표현형 종류가 적고, 여성의 극단 표현형 중 하나가 나타나지 않는다.

[예시 - 23학년도 6평]

○ (가)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다. (가)의 3가지 표현형은 각각 ㉠, ㉡, ㉢이다.

○ (나)는 3쌍의 대립유전자 H와 h, R와 r, T와 t에 의해 결정된다. (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.

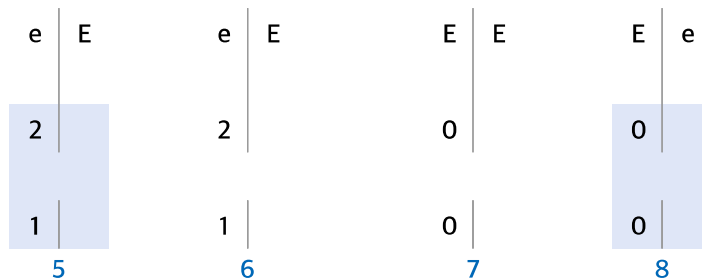
○ 가계도는 구성원 1~8에게서 발현된 (가)의 표현형을, 표는 구성원 1, 2, 3, 6, 7에서 체세포 1개당 E, H, R, T의 DNA 상대량을 더한 값(E+H+R+T)을 나타낸 것이다.

구성원	E+H+R+T
1	6
2	㉠
3	2
6	5
7	3

○ 구성원 1에서 e, H, R는 7번 염색체에 있고, T는 8번 염색체에 있다.

○ 구성원 2, 4, 5, 8은 (나)의 표현형이 모두 같다.

구성원 2, 4, 5, 8은 (나)의 표현형이 모두 같다고 제시되어 있다.



필자라면 실전이라면 위처럼 풀 듯 하나 22학년도 수능 풀이처럼 일반화된 아래 풀이도 공부해두도록 하자.

세포 분열 돌연변이
Schema 18

비분리 특수 해석

[중요도 ★★★★★]

- ① $n, 1$ 세포에서 대립유전자 쌍의 DNA 상대량이 (1, 1)이면 감수 1분열에서 비분리가 일어난 것이고 ②은 + 세포이다.

- $2n, 2$ 세포에서 ③ 대립유전자 쌍의 DNA 상대량이 (1, 1)인데

④ $n, 1$ 세포에서 ③에 대한 DNA 상대량 (2, 0)이 등장한다면 감수 2분열 비분리이고, ⑤은 + 세포이다.

- 이러한 케이스를 정리하면 다음과 같다.

1) $n, 2$

(2, 2) : 이형 접합성, 감수 1분열 비분리

(4, 0) : 동형 접합성, 감수 1분열 비분리

(0, 0) : 핵상 $n-1$ or 남성 (성염색체)

2) $n, 1$

(1, 1) : 이형 접합성, 감수 1분열 비분리

(2, 0) : 동형 접합성, 감수 1분열 비분리

(2, 0) : 동형 접합성 or 이형 접합성, 감수 2분열 비분리

(0, 0) : 핵상 $n-1$ or 남성 (성염색체)

세포 분열 돌연변이

세포 분열 돌연변이
Schema 21

비분리 vs 결실 구분

[중요도 ★★★]

- 비분리는 전체 염색체 단위로 (-)가 일어나고
결실은 일부 염색체 단위로 (-)가 일어난다.

상대량의 합을 순서쌍 분할했을 때, DNA 상대량 1이 있으면 양극단 세포이다.

딸세포의 유전자 종류는 모세포의 유전자 종류보다 많을 수 없다.

[예시 - 22학년도 수능]

- (가)~(다)의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있다.
- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해 결정된다.
- P의 유전자형은 AaBbDd이고, Q의 유전자형은 AabbDd이며, P와 Q의 핵형은 모두 정상이다.
- 표는 P의 세포 I~III과 Q의 세포 IV~VI 각각에 들어 있는 A, a, B, b, D, d의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. ㉠~㉦은 0, 1, 2를 순서 없이 나타낸 것이다.

사람	세포	DNA 상대량					
		A	a	B	b	D	d
P	I	0	1	?	㉠	0	㉡
	II	㉢	㉣	㉤	?	㉥	?
	III	?	㉣	0	㉣	㉣	㉣
Q	IV	㉣	?	?	2	㉣	㉣
	V	㉣	㉣	0	㉤	㉣	?
	VI	㉤	?	?	㉤	㉣	㉤

- 세포 ㉠과 ㉡ 중 하나는 염색체의 일부가 결실된 세포이고, 나머지 하나는 염색체 비분리가 1회 일어나 형성된 염색체 수가 비정상적인 세포이다. ㉠은 I~III 중 하나이고, ㉡는 IV~VI 중 하나이다.
- I~VI 중 ㉠과 ㉡를 제외한 나머지 세포는 모두 정상 세포이다.

Q의 V에는 ㉢, ㉣, ㉣이 모두 존재하므로 DNA 상대량 1이 있다.
따라서 G₁기 세포이거나 돌연변이가 일어난 핵상이 n인 세포이다.

이때 Q의 유전자형이 AabbDd이므로 G₁기 세포에서 DNA 상대량은 110211로 나타나야 하고 V는 이에 모순이고, G₁기 세포가 아니다.

∴ V는 돌연변이가 일어난 핵상이 n인 세포이고, IV와 VI는 정상 세포이다.

심화 돌연변이
Schema 10

클라인펠터 증후군

[중요도 ★★★]

- 클라인펠터 증후군은 다음과 같이 4가지 경우에 가능하다.

- 1) P의 XY + Q의 X
- 2) P의 Y + Q의 왼쪽 XX (2분열 비분리)
- 3) P의 Y + Q의 오른쪽 X'X' (2분열 비분리)
- 4) P의 Y + Q의 XX' (1분열 비분리) ⇒ 어머니와 표현형이 동일하다.

이때 4가지 경우 모두 "공통적으로" 어머니로부터 X 염색체를 하나 이상 받는다.

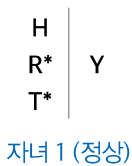
[예시 - 18학년도 수능]

- ㉠은 대립 유전자 H와 H*에 의해, ㉡은 대립 유전자 R과 R*에 의해, ㉢은 대립 유전자 T와 T*에 의해 결정된다. H는 H*에 대해, R는 R*에 대해, T는 T*에 대해 각각 완전 우성이다.
- ㉠~㉢을 결정하는 유전자는 모두 X 염색체에 있다.
- 감수 분열 시 부모 중 한 사람에게서만 염색체 비분리가 1회 일어나 ㉠ 염색체 수가 비정상적인 생식 세포가 형성되었다. ㉠이 정상 생식 세포와 수정되어 아이가 태어났다. 이 아이는 자녀 3과 자녀 4 중 하나이며, 클라인펠터 증후군을 나타낸다. 이 아이를 제외한 나머지 구성원의 핵형은 모두 정상이다.
- 표는 구성원의 성별과 ㉠~㉢의 발현 여부를 나타낸 것이다.

구성원	성별	㉠	㉡	㉢
부	남	○	?	?
모	여	?	×	?
자녀 1	남	×	○	○
자녀 2	여	×	×	×
자녀 3	남	×	×	○
자녀 4	남	○	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현되지 않음)

자녀 3과 자녀 4 중 하나가 돌연변이 자손이나 ㉡과 ㉢의 여부가 동일한 것을 활용하여 3연관 염색체 지도를 채우다 보면 다음을 알 수 있다.



심화 돌연변이
Schema 15

다인자 비분리

[중요도 ★★★]

- 다인자 유전과 비분리가 엮여서 종종 출제되곤 한다. 이때 극단적인 표현형 방향으로 정상 자손에서 나타날 수 없는 경우의 수가 등장할 것이다.

극단적인 (경우의 수 1) 표현형을 우선적으로 생각하자.

- Max 표현형을 판단할 때, 정상 생식세포 그리고 정상 분리 상황을 Max로 수렴시켜 둔 후 (A), 비분리 생식세포가 대문자 수 몇 개를 더 줘야하는지 (A^C) 판단하자.

- 상염색체 유전에서 이형 접합성이 등장할 단위 확률은 0 or 1/2 or 1이다.
이형 접합성이 등장할 단위 확률이 1/4가 등장한다면 반성 다인자를 의심하자.

- 상염색체 유전일 때, 체세포 핵상이 2n-1인 자손은 유전자량이 부족해 태어날 수 없다. 생명과 학1 범위에서 체세포 핵상이 2n-1인 자손이 태어날 수 있는 경우는 터너 증후군이 유일하다.

[예시 - 23학년도 수능]

- (가)는 서로 다른 상염색체에 있는 2쌍의 대립유전자 H와 h, T와 t에 의해 결정된다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 표는 이 가족 구성원의 체세포에서 대립유전자 ㉠~㉤의 유무와 (가)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수를 나타낸 것이다. ㉠~㉤는 H, h, T, t를 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉤은 0, 1, 2, 3, 4를 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	대립유전자				대문자로 표시되는 대립유전자의 수
	㉠	㉡	㉢	㉣	
아버지	○	○	×	○	㉦
어머니	○	○	○	○	㉧
자녀 1	?	×	×	○	㉨
자녀 2	○	○	?	×	㉩
자녀 3	○	?	○	×	㉪

(○: 있음, ×: 없음)

- 아버지의 정자 형성 과정에서 염색체 비분리가 1회 일어나 염색체 수가 비정상적인 정자 P가 형성되었다. P와 정상 난자가 수정되어 자녀 3이 태어났다.
- 자녀 3을 제외한 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

어머니는 순서 없이 해석에 의해 ㉤이 2이고

자녀 3은 상염색체 수 이상 비분리이므로 체세포 핵상은 2n+1이며, ㉤은 4이다.