

발생

다세포 진핵생물에서 수정란이 세포 분열과 분화를 통해 하나의 개체가 되는 과정

세포 분열

배아의 크기와 세포 수가 증가하는 과정이다. 이 때, 모세포와 딸세포의 유전체 구성은 동일하기 때문에 발생 과정이 세포 분열에만 의존한다면 개체 고유의 형태와 복잡성은 나타날 수 없다.

발생 중 세포 분화

발생 중에는 세포 수의 증가와 함께 세포 분화가 진행된다. 세포 분화를 통해 세포는 구조와 기능이 서로 다른 다양한 조직 세포가 된다.

성장

세포의 성장과 분열을 통해 기관과 몸의 크기가 커지는 것

10. 형태 형성

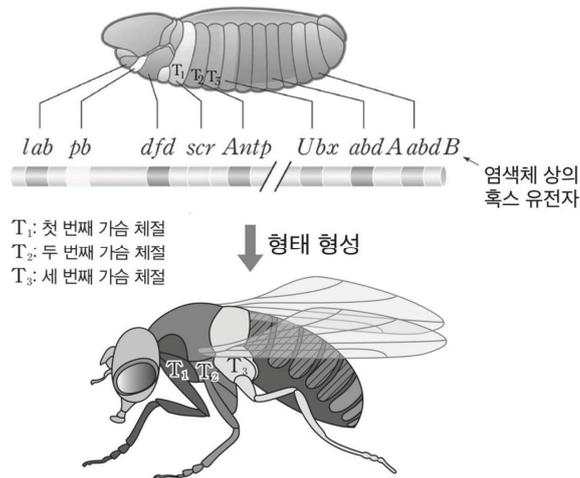
수정란과 사람은 형태에 있어 큰 차이를 보인다. 수정란은 난황을 시작하면서 배아가 되고, 이러한 배아가 **세포 분열**, **세포 분화**, **형태 형성**, **성장** 등의 과정을 거쳐 복잡한 형태의 성체(사람)이 된다.

이 중 기관 형성 과정에서 조직 세포가 공간 상의 일정 위치에 배열되면서 기관 고유의 형태가 만들어지는 과정을 **형태 형성**이라고 한다.

발생 과정 전체를 도자기 만들기에 비유한다면 형태 형성은 형태가 없는 찰흙 덩어리를 식별 가능한 모습으로 만드는 과정이라고 할 수 있다.

이러한 형태 형성 과정에서는 수많은 **세포 분열**과 **세포 분화**가 일어나며 이에 관여하는 다양한 유전자들이 순차적으로 발현된다.

초파리의 형태 형성 과정은 다음과 같다.

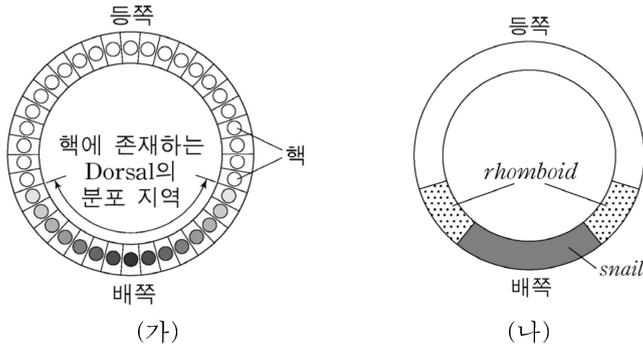


초파리를 관찰하는 이유는, 초파리에서 **흑스 유전자**가 처음으로 발견되었으며 일반적으로 생각하는 것보다 **사람의 발생 과정이 초파리와 유사한 점이 훨씬 많아 사람의 발생 과정을 연구하는 데 유용하며, 진화론적으로 큰 의미를 갖기 때문이다.**

[문제 66 - 16학년도 MDEET & 22학년도 EBS 변형]

다음은 초파리의 형태 형성에 대한 자료이다.

- 그림 (가)는 초파리 배아에서 핵에 존재하는 Dorsal 단백질의 분포 양상을 (나)는 *Snail*과 *Rhomboid*의 mRNA 분포 양상을 나타낸 것이다. Dorsal 단백질은 *dorsal* 유전자에 의해 발현된다.



- 초파리의 발생 과정에서 등쪽과 배쪽의 구분은 Dorsal 단백질의 발현 유무에 의해 결정된다.
- Dorsal 단백질은 배쪽에 축적되며 등쪽으로 갈수록 농도가 점점 낮아지며, *Snail* 유전자와 *Rhomboid* 유전자의 조절 부위에 각각 결합하여 발현을 촉진한다.
- Snail 단백질은 *Rhomboid* 유전자의 발현을 억제한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, (나)의 발현 양상은 Dorsal 단백질과 Snail 단백질에 의해서만 결정된다.)

< 보 기 >

- dorsal* 유전자가 결실되면, 정상 배아에서 배쪽이 될 부위가 등쪽이 된다.
- Rhomboid* 유전자로부터 전사된 mRNA의 농도는 Dorsal 단백질이 발현되었을 때보다 Dorsal 단백질이 발현되지 않았을 때가 더 높다.
- Dorsal 단백질은 유전자와 유전자의 전사 인자로 작용한다.
- 초파리 배아에서 배쪽을 형성하는 부위에 Dorsal 단백질이 분포한다.

[문제 66] 정답 가, 나, 다, 르

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. *dorsal* 유전자가 결실되면, 정상 배아에서 배쪽이 될 부위가 등쪽이 된다. (0)

dorsal 유전자가 결실되면 Dorsal 단백질이 생성되지 못하고
Dorsal 단백질의 발현 유무에 의해 등쪽과 배쪽이 구분되므로
Dorsal 단백질이 발현되지 않으면 배쪽이 될 부위가 등쪽이 된다.

ㄴ. *Rhomboid* 유전자로부터 전사된 mRNA의 농도는 Dorsal 단백질이 발현되었을 때보다
Dorsal 단백질이 발현되지 않았을 때가 더 높다. (0)

(가)에서 *dorsal* 유전자가 발현되지 않으면 *Snail* 유전자가 발현을 촉진하지 못하고
Snail 단백질에 의한 *Rhomboid* 유전자 발현 억제가 일어나지 않아
Rhomboid 유전자로부터 전사된 mRNA의 농도는 증가하게 된다.

ㄷ. Dorsal 단백질은 유전자와 유전자의 전사 인자로 작용한다. (0)

Dorsal 단백질이 *Snail* 유전자와 *Rhomboid* 유전자의 조절 부위에 각각 결합하여 전사 인자로 작용한다.

ㄹ. 초파리 배아에서 배쪽을 형성하는 부위에 Dorsal 단백질이 분포한다. (0)

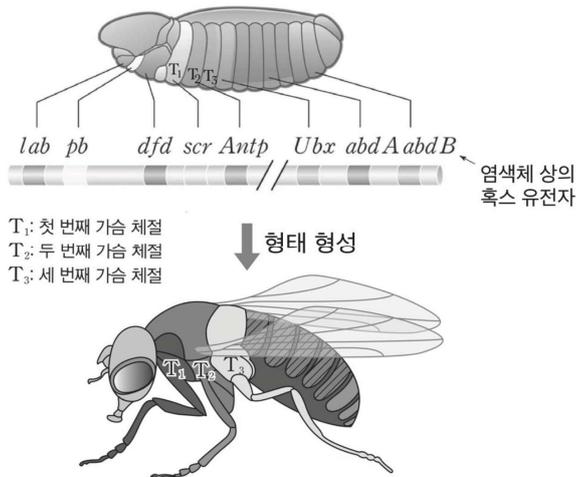
(가)를 통해 초파리 배아에서 배쪽을 형성하는 부위에 Dorsal 단백질이 분포하는 것을 알 수 있다.

11. 홈스 유전자

체절 정체성을 특성화하는, 즉 배아에서 몸의 각 체절에 만들어질 기관을 결정하는 **홈스 유전자(Hbx 유전자)**는 **호미오 박스(homeobox)**라고 하는 특정 염기 서열을 공통으로 가지는 유전자들이며 유전자 산물로 전사 인자를 만들어낸다.

초파리의 수정란은 발생 초기에 **체절** 형성에 관여하는 유전자의 활동으로 체절이 구분된다. 이 체절에 따라 형성되는 고유의 기관들이 달라지는데, 형태 형성 과정에서 **홈스 유전자**는 각 체절에 만들어질 기관을 결정하는 **핵심 조절 유전자**로 작용한다.

체절에 따라 발현되는 홈스 유전자는 차이가 있는데 다음 자료를 통해 알아보자.



예를 들어 *Antp* 유전자는 두 번째 가슴 체절에서 발현되며, 이곳에서는 한 쌍의 다리와 한 쌍의 날개가 형성된다. 또한 *Ubx* 유전자는 세 번째 가슴 체절에서 발현되며 이곳에서는 한 쌍의 날개가 발현된다.

이러한 초파리의 홈스 유전자들은 모두 하나의 염색체에 연관되어 있으며, 각각의 홈스 유전자가 형태 형성에 관여하는 체절의 배열 순서와 같은 순서로 배열되어 있다.

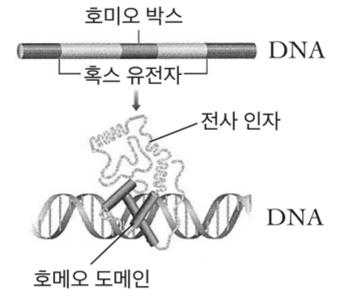
홈스 유전자의 작용으로 초파리가 발생하는 과정은 다음과 같다.

홈스 유전자의 작용

- 수정란에서 난자의 세포질에 분포되어 있던 세포질 인자의 작용으로 초파리 배아의 **방향성이 결정**된다. 여기서 방향성의 결정은 머리와 꼬리 방향의 결정, 등과 배 방향의 결정을 포함한다.
- 배아에서 여러 유전자들이 발현되어 **체절이 결정**된다.
- 경계가 만들어지기 시작하면 **홈스 유전자의 작용**으로 각 체절이 어떤 형태를 형성할지 **운명이 결정**된다.

[Common Sense]

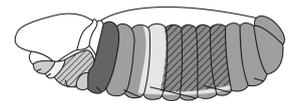
홈스 유전자와 호미오 도메인



모든 척추동물의 홈스 유전자는 **호미오 도메인**이라고 명칭되는 여러 개의 아미노산들로 구성된 DNA 결합 부위를 가지고 있다. 이러한 호미오 도메인은 특정한 유전자의 **프로모터** 또는 **조절 부위**에 결합하여 전사를 조절하며, **호미오 박스**라는 여러 개의 염기쌍으로 구성된 염기서열에 의해 암호화된다.

체절

동물의 앞과 뒤의 축을 따라 반복하여 나타나는 분절적 입체 구조



연관

여러 개의 유전자들이 동일한 염색체에 함께 존재하는 것

[Common Sense - 핵심 조절 유전자의 상대성]

혹스 유전자는 체절에 만들어질 기관을 결정하는 핵심 조절 유전자이지만 발생 상에서 가장 먼저 발현되는 유전자는 아니다

이는 **핵심 조절 유전자가 상대적인 개념**이라는 것을 의미한다.

특정 단백질 P를 만들어내기 위해, 특정 단백질 P를 암호화하는 유전자 p 의 전사가 필요하고 이러한 유전자를 발현시키기 위해 전사 인자와 같은 조절 단백질이 필요하다. 이러한 특정 조절 단백질을 만들어내기 위해 또 다른 조절 유전자들을 발현시키는 과정이 연쇄적으로 일어나야 하고, 이러한 일련 과정에서 **가장 상위에 있는 조절 유전자를 핵심 조절 유전자**라고 하는 것이다.

하지만 이러한 핵심 조절 유전자도 발현되는 데에 조절 단백질이 필요하다.

혹스 유전자가 초파리의 각 체절이 어떤 형태를 형성할지 운명을 결정하는 핵심적인 역할을 하는 핵심 조절 유전자이지만, 이러한 혹스 유전자의 발현을 조절해주는 조절 유전자가 존재한다는 것이다.

이 때, **핵심 조절 유전자는 단백질 P에 있어서 가장 상위에 있는 유전자**이지만 **핵심 조절 유전자의 발현을 조절해주는 유전자에 있어서는 하위에 있는 유전자**이다.

즉, 핵심 조절 유전자라는 말은 상당히 상대적인 말이라는 뜻이다.

이렇게 다시 어떤 핵심 조절 유전자의 조절 단백질을 추적하고, 이 조절 단백질을 암호화하는 조절 유전자를 찾는 과정을 반복하다보면 사람의 발생에 관여하는 **최초의 전사 인자**가 분명히 존재할 것이며 이는 **수정란에 존재한다**.

수정란에 있는 전사 인자 몇 개가 발생에 필수적인 최초의 핵심 조절 유전자의 스위치를 켜주고, 그에 따라 전사 인자가 만들어지며 분화가 일어난다.

이러한 **최초의 전사 인자**는 **엄마로부터 전달된다**. “패턴 형성이 일어나기 전 난자의 세포질에 불균등하게 존재하는 세포질 인자의 작용”을 최초의 전사 인자의 작용으로 생각해도 좋다.

