

1.

## 글리코칼릭스(Glycocalyx)

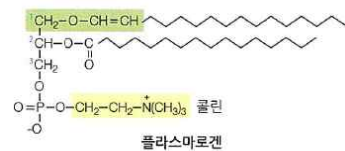
- 프로테오글리칸, 당단백질(Glycoprotein), 당지질(Glycolipid) 등에 의해 세포막 바깥쪽에 형성된 당의 층
- 세포 표면 보호, 주변 환경 물질의 인식과 부착, 세포 신호 전달 등에 관여
- 당의 음전하에 염이 결합해 물 분자를 끌어들이고, 세포 표면을 미끌미끌하게 해서 세포들끼리 달라붙지 않고, 좁은 틈 사이를 쉽게 비집고 빠져 나갈 수 있도록 도와줌

## 아가로오스(Agarose)

- 한천질을 지닌 홍조류의 세포벽 성분
- 가열해서 물에 녹인 후 서서히 식히면 약 32~40℃에서 나선 모양의 덩어리가 그물 구조를 형성하면서 굳어 아가로오스 겔을 형성
- 핵산을 분리하는 전기영동 실험에 사용

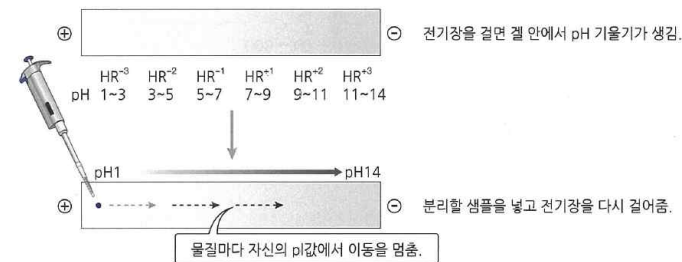
## ※ 에테르(Ether) 결합을 지닌 인산지질

- 인산지질을 분해하는 포스포리파아제(phospholipase)에 대해 저항성을 지님
- 심장 세포에서 플라스마로겐이 많이 발견됨



## • 등전점(Isoelectric point, pI) : 물질의 알짜 전하가 0이 되는 pH 값

- pI: 음전하 아미노산 < 전하 없는 아미노산 < 양전하 아미노산



## α-나선 구조

- n잔기의 C=O와 n+4잔기의 N-H 간에 수소 결합을 함
- 회전 당 3.6개의 잔기로 구성
- L-아미노산들로 이루어져 있어, 대개 오른 나선 구조를 형성함
- 전하 있는 아미노산들은 반발력과 같은 상호 작용 때문에 잘 관찰되지 않음
- 대신 소수성 아미노산들이 많아 막관통을 하는 단백질에서 흔히 관찰됨
- 프롤린은 지나치게 휘게 하고, 글리신은 너무 유연해서 잘 관찰되지 않음
- 대표적인 단백질 : α-케라틴

## β-병풍 구조

- 두 개 이상의 편이 서로 충돌을 이루어 가까이 놓일 수 있도록 R기가 작은 글리신, 알라닌 같은 아미노산들이 많이 발견됨

2.

## 동종 효소(isozyme)

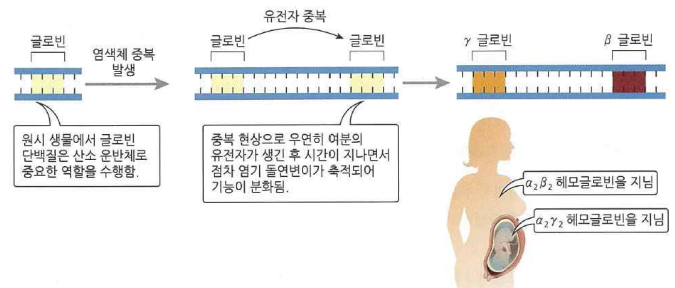
- 아미노산 서열은 서로 다르지만 같은 대사 과정에 관여하는 효소들
- 동종 효소들 간에 기질 결합 부위 구조는 거의 유사
  - 기능적 동질성이 높아 공통의 도메인들이 관찰됨
- 약간의 아미노산 서열 차이를 지녀 각 환경 조건에 맞게 효소들이 발현됨
  - 체내의 각 기관마다 pH, 염농도, 온도 등의 조건들이 다름
  - 발생 시기에 따라 다른 환경 조건이 조성됨
  - 상황에 따라 다른 방식의 조절을 받을 필요가 있음
- 고등 생물일수록 동종 효소의 비율이 높아짐

## (i) 엑손 셔플링(Exon shuffling)

- 진화 과정 중 서로 다른 유전자의 일부 엑손 부위들을 복제하고 조합해서 이 엑손들로 이루어진 새로운 유전자가 만들어지는 현상
- 새로 만들어진 유전자에서 번역된 단백질은 이전 유전자에서 번역된 단백질과 동일한 도메인을 지니게 됨

## (ii) 다유전자군(Multigene family)

- 한 생물체 내에 유사한 단백질 정보를 지닌 유전자들의 그룹
- 진화 과정 중 어떤 유전자가 염색체 중복 현상 등으로 여러 개로 복제된 후, 시간 경과에 따라 조금씩 돌연변이가 일어나 살짝 다른 단백질을 합성하는 유전자들로 각각 정착함



## (iii) 선택적 스플라이싱(Alternative splicing)

- 한 유전자가 전사되면서 다양한 조합으로 엑손이 연결되어 여러 가지 서로 다른 mRNA들이 생성됨
- 각 mRNA로부터 번역된 단백질들은 대개 서로 유사한 기능을 함

- 푸른 곰팡이에서 추출한 인류 최초의 항생제(플레밍, 1928년)
- β-락탐 계열 항생제 : 세균의 트랜스펩티다아제(Transpeptidase) 효소를 저해해 세포벽 합성을 막음
- 저장액 환경이나 왕성한 세포 분열 시 생기는 세포 내 압력을 견디지 못해 터져 죽게 됨

## 암피실린

- 페니실린은 그람 양성균에만 효과적. 그람 음성균은 외막을 침투 못해 효과가 없음
- 그람 양성균, 음성균 모두에 효과를 갖도록 R기를 변형한 항생제로 개발됨

## 경쟁적 저해(Competitive inhibition)

- 저해제가 기질과 비슷한 구조를 지님
- 기질과 저해제가 효소의 기질 결합 부위에 대해 서로 경쟁적으로 결합함
- [ES] 복합체 형성이 잘 안 됨 →  $K_M \uparrow$ ,  $k_{cat}$  변화 없음,  $\frac{k_{cat}}{K_M} \downarrow$
- 기질 농도를 높이면 저해제의 저해 효과를 극복할 수 있음

비경쟁적 저해(Noncompetitive inhibition)

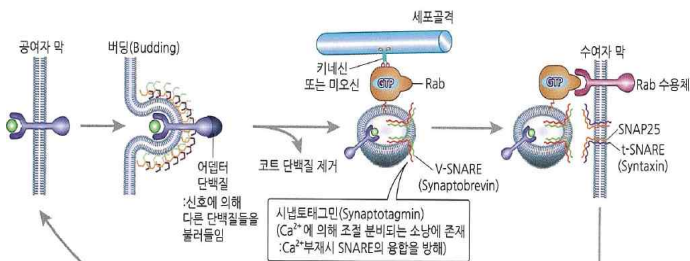
- 저해제가 [E] 또는 [ES] 복합체의 기질 결합 부위 이외의 다른 자리에 결합
- [ES] 복합체 형성에는 문제 없음  $\rightarrow K_M$  변화 없음,  $k_{cat} \downarrow, \frac{k_{cat}}{K_M} \downarrow$

비가역 조절

- 번역 직후에는 활성이 없는 전구체 상태(효소원, Zymogen)로 존재하다가 폴리펩티드 일부가 절단되면서 입체 형태의 변화가 일어나 활성화 됨
- 보체, 케스페이스(Caspase), 혈액 응고 인자, 소화 관련 단백질 분해 효소들(펩신, 트립신, 키모트립신 등)

3.

소낭에 시냅토테그민이 있으면  $Ca^{2+}$  신호가 있을 때에만 융합이 일어남



파고세포포식(Phagocytosis)

- 고형의 큰 물질  $\rightarrow$  비특이적 수용체에 결합
- 미세섬유가 위족(Pseudopodia)을 형성해 넓은 범위의 세포막 함입을 함

피노세포포식(Pinocytosis)

- 액상의 작은 물질  $\rightarrow$  비특이적 수용체에 결합
- 클라트린 단백질을 이용해 함입

클라트린 매개 엔도세포포식(= 수용체 매개 엔도세포포식)

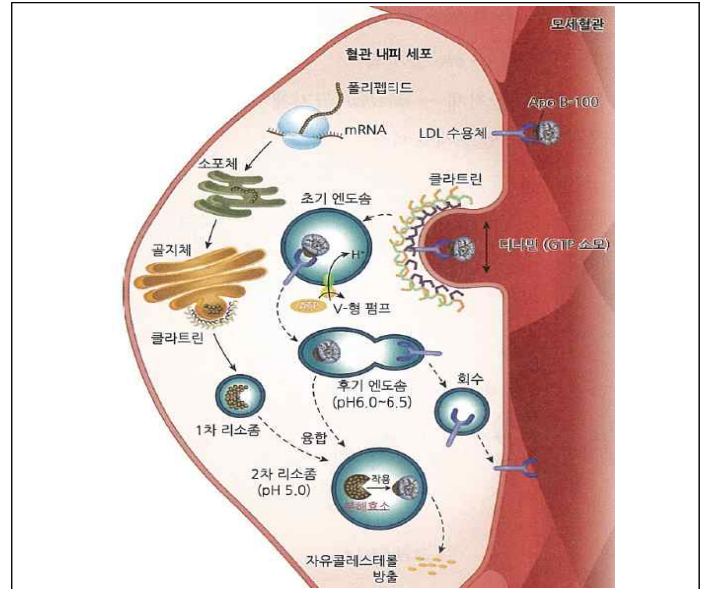
- 특정 분자  $\rightarrow$  특이적 수용체에 결합
- 클라트린 단백질을 이용해 함입

클라트린(Clatrin) 코트 단백질

- 리간드가 세포막의 수용체 단백질에 결합  $\rightarrow$  클라트린은 평소 세포질에 단위체로 떠돌다가 세포막으로 가서 중합체를 형성해 세포막을 공 모양으로 함몰시킴  $\rightarrow$  디나민(Dynamin) 단백질이 GTP를 에너지원으로 사용해 세포막에서 소낭을 분리함  $\rightarrow$  소낭이 형성되면 코트 단백질들은 세포질로 회수됨

카베올레(Caveolae)

- 막의 움푹 패인 구조 내에 특이적 수용체들이 존재
- 물질이 카베올레 내의 수용체에 결합 시, 클라트린의 도움 없이 세포막 함입이 일어남



4.

그람 양성균

- 펩티도글리칸으로 이루어진 두꺼운 세포벽 존재
- 세포벽에 테이코산(Teichoic acid)이 관찰됨

그람 음성균

- 얇은 펩티도글리칸층 바깥쪽으로 외막 존재
- 두 층은 직접 맞닿아 있거나 리포단백질(Lipoprotein)로 단단하게 연결됨
- 외막에 지질다당류(Lipopolysaccharide, LPS)가 관찰됨

3. 크리스탈 바이올렛을 처리한 후 물로 씻어냄(염기성 시약, 세포벽 속으로 침투해 보라색 염색)
4. 요오드 용액(KI - I<sub>2</sub>)을 처리한 후 물로 씻어냄(요오드와 크리스탈 바이올렛이 결합해 결정 형성)
5. 에탄올 또는 아세톤을 처리한 후 물로 씻어냄(세포벽이 탈수되어 그물 구조의 구멍을 수축시킴)
- 그람 양성균의 세포벽은 두꺼워 크리스탈 바이올렛 결정이 남아 있지만, 그람 음성균의 세포벽은 얇아 빠져나감

그람 음성균	
얇은 세포벽 + 외막	사프란인 또는 푸른색을 처리한 후 물로 씻어냄(염기성 시약, 대조 염색으로 그람 음성균이 뚜렷이 보이도록 붉은 색 염색)
사프란인	
X	
외독소 + 내독소	
X	
<i>Escherichia coli</i>	

외독소(Exotoxin)

- 60~80℃에서 변성되는 열에 약한 친수성 단백질
- 보통 외독소 유전자를 지닌 플라스미드나 프로파지를 가진 세균들이 합성해 분비함

AB 독소(세포 내 침투 독소)

- A 부분: 표적 세포 내에서 독성을 나타냄
- B 부분: 표적 세포 수용체와 결합함
- 세균이 분비한 AB 독소의 B 부분이 표적 세포의 수용체에 결합해 엔도세포포식 됨
- $\rightarrow$  B 부분에서 분리된 A 부분이 세포 내 특정 단백질을 ADP-리보실화 해 활성을 없앴
- 신경독소(Neurotoxin), 장독소(Enterotoxin), 세포독소(Cytotoxin) 등

<p><b>내독소(Endotoxin)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>그람 음성균의 외막에서 떨어져 나온 LPS 성분으로 열에 안정함</li> <li>지질(Lipid) A 부분이 독성을 나타냄             <ul style="list-style-type: none"> <li>열 발생, 혈액 응고, 쇼크, 설사, 염증, 장출혈 등을 일으킴</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>사람의 체내에 확산된 LPS를 대식 세포가 섭취하면서 IL-1을 방출</li> <li>IL-1이 시상하부를 자극하면 프로스타글란딘이 방출됨</li> <li>프로스타글란딘에 의해 시상하부 설정점이 상승하면, 체온을 올리는 기작들이 촉진됨</li> </ul>

5.

<p><b>오탄당 인산 경로(Pentose-phosphate pathway, PPP)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>육탄당인 포도당으로 뉴클레오타이드의 재료인 오탄당을 만들</li> <li>NADPH 획득             <ul style="list-style-type: none"> <li>여러 동화 과정에서 물질 환원 시 보조인자로 필요함</li> <li>시토크롬 P-450, 글루타티온(Glutathione) 등이 해독 과정을 할 때 필요함</li> </ul> </li> </ul> <p><b>산화적 PPP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>동물세포의 세포질에서 포도당으로 5-인산 리보오스(핵산 합성에 필요)와 NADPH(동화, 해독에 필요)를 합성하는 경로</li> </ul> <div data-bbox="119 985 510 1176"> </div> <p><b>6-인산 글루코스 디하이드로제네이스 결핍증</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>이 효소가 결핍된 사람들은 적혈구를 비롯한 여러 세포들에서 NADPH 합성이 줄어들             <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 등의 해독이 안 됨</li> <li>활성 산소들이 단백질, DNA 등을 산화하고 적혈구 세포막을 파괴해 빈혈을 일으킴</li> </ul> </li> <li>말라리아 기생충(열원충, <i>Plasmodium falciparum</i>)은 산화적 스트레스에 매우 민감함             <ul style="list-style-type: none"> <li>기생충이 6-인산 글루코스 디하이드로제네이스가 결핍된 사람들에 감염할 경우, 적혈구에 생긴 활성 산소 때문에 죽게 됨</li> <li>이 사람들은 말라리아에 대한 저항성을 갖기 때문에, 말라리아 유행 지역에서 자연 선택을 받음</li> </ul> </li> </ul>
--

6.

<p><b>케톤체(Ketone body)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>간의 미토콘드리아 기질에서 합성된 후 혈액으로 배출되면서 혈중 pH가 낮아지는 대사성 산증 발생</li> <li>뇌, 심장, 골격근 등 여러 조직들의 에너지원으로 사용됨             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 심한 기아 시에는 뇌의 주요 에너지원이 됨</li> </ul> </li> </ul>
--

<ul style="list-style-type: none"> <li>조직에 포도당 공급이 부족하면 간은 혈당을 높이기 위해 포도당 신생합성을 활발히 진행함</li> <li>간세포 내에 해당과정, TCA 회로의 중간 물질들이 포도당 신생합성에 동원되어 고갈됨</li> <li>간세포가 사용할 에너지를 얻기 위해 지방세포에서 지방산을 동원함</li> <li>간세포의 미토콘드리아에서 지방산 β-산화해 NADH, FADH<sub>2</sub>를 생산하면 전자 전달 체로 ATP를 얻지만, 아세틸-CoA는 TCA 회로 중간 물질들이 고갈되어 있어서 마치 대사 되지 못하고 쌓임</li> <li>아세틸-CoA가 쌓이면 CoA-SH를 회수할 수 없어서 결국 지방산 β-산화도 멈추기 때문에, 아세틸-CoA를 케톤체로 바꿔 혈액으로 방출하고 CoA-SH를 회수해서 간세포가 계속 지방산 β-산화로 에너지를 얻을 수 있게 됨</li> </ul>
<p>동물세포 : 긴 지방산과 가지 친 지방산을 퍼옥시좀에서 산화, 16C 이하의 지방산이 되면 미토콘드리아에서 산화함</p> <p>식물세포 : 퍼옥시좀만 지방산의 산화를 함</p>
<p>미토콘드리아 : 주로 ATP를 얻기 위해 β-산화를 함(일부는 다른 물질 합성의 전구체로 사용)</p> <p>퍼옥시좀 : 다른 물질들을 합성하기 위한 전구체로 아세틸-CoA가 필요해서 β-산화를 함</p>
<p>포도당 : 에너지원으로 사용할 수 있고, 다른 당, 지질, 각종 아미노산들을 합성할 수 있음</p> <p>지방산 : 높은 에너지를 얻는 반면, 아세틸-CoA로 산화되면 TCA 회로를 통해 2CO<sub>2</sub>가 방출되기 때문에 탄소가 쌓일 수 없어서 지질 이외에 탄수화물, 아미노산들을 합성할 수 없음</p> <div data-bbox="925 907 1197 1086"> </div>
<ul style="list-style-type: none"> <li>식물, 대장균, 효모, 몇몇 무척추 동물 등은 아세트산만 공급된 환경에서도 포도당을 비롯한 각종 유기물들을 합성하기 위해 변형된 TCA 회로인 글리옥실산 회로를 가짐             <ul style="list-style-type: none"> <li>발아 중인 식물 종자는 잎이 없어 광합성을 못하는 대신 배젖에 저장했던 지방산으로 각종 물질들을 합성하기 위해 글리옥시좀에서 글리옥실산 회로를 진행함                 <ul style="list-style-type: none"> <li>→ TCA 회로 중 CO<sub>2</sub>가 방출되는 단계를 건너뛰고 대사 과정을 진행</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <div data-bbox="925 1299 1436 1444"> </div>

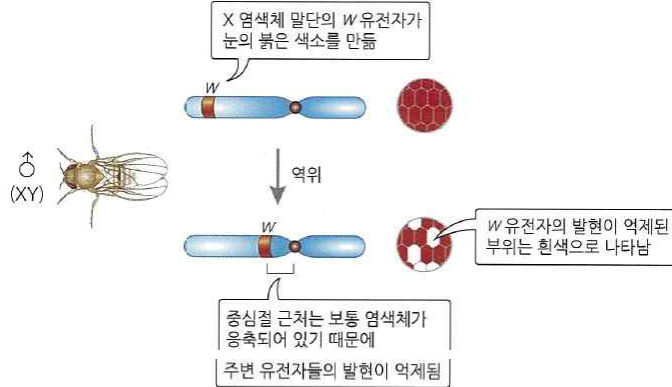
7.

<p>중복 현상으로 같은 유전자 수가 늘어나면 시간 경과에 따라 중복된 각 유전자들에 변이가 일어나면서 점차 새로운 기능을 얻어 다유전자군(Multigene family)이 될 수 있어 진화적으로 매우 중요한 의미가 있음</p>
---



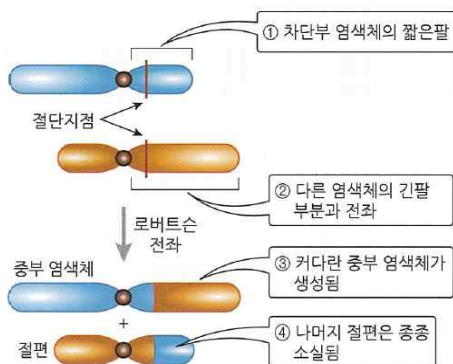
위치 효과(Position effect)

- X 염색체의 역위로 white 유전자가 중심절 부근으로 이동했을 때 나타남
  - 중심절 주변이 이질 염색질이 되어 뭉칠 때 세포에 따라 무작위로 white 유전자가 함께 응축되면서 발현양이 달라짐
    - 초파리의 눈 색깔이 모자이크 형태로 나타남



로버트슨 전좌(Robertsonian translocation)

- 두 차단부(Acrocentric) 염색체(13, 14, 15, 21, 22번) 사이에 중심절 주변에서 상호 전좌가 일어난 뒤, 단완끼리 연결된 염색체는 중요한 유전자들이 거의 없기 때문에 소실되고 장완끼리 연결된 염색체만 남음
  - 정상인에 비해 염색체 수가 줄어듦(46개 → 45개)



- 21번 염색체에는 APP(Amyloid precursor protein) 유전자가 존재함. 막단백질인 APP는 절단될 경우 아밀로이드-β를 형성해 덩어리를 만들 수 있으며 이것이 프리온성 질환인 알츠하이머병을 유발할 수 있음.
- 다운증후군 환자들은 APP가 과량 발현되기 때문에 어린나이에 지적장애가 수반됨.

키메라 생물 : 둘 이상의 개  
체에서 나온 세포들이 융합해  
발생한 생물

모자이크 생물

- 초기 배아의 체세포 분열 중 염색체 비분리 현상으로 유전적으로 다른 세포 군집들이 생김
  - 암컷, 수컷의 형질을 한 몸에 지닌 암수 모자이크가 대표적

8.

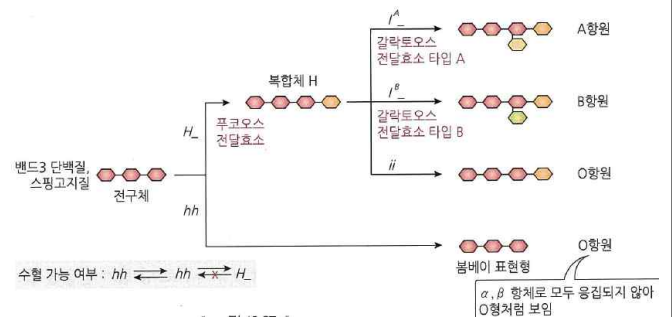
cis-AB형

- 한국 서남부와 일본 규슈 지역 한국계 주민들에서 주로 발견됨
- 갈락토오스 전달효소(Galactosyl transferase) 유전자에 돌연변이가 일어나서 효소가 N-아세틸 갈락토사민과 갈락토오스를 구분하지 않고 무작위로 당 첨가 반응을 함

$$\begin{aligned} I^{AB}/I^A &\times i/i \rightarrow AB\text{형 또는 } A\text{형} \\ I^{AB}/I^B &\times i/i \rightarrow AB\text{형 또는 } B\text{형} \\ I^{AB}/I^{AB} &\times i/i \rightarrow AB\text{형} \\ I^{AB}/i &\times i/i \rightarrow AB\text{형 또는 } O\text{형} \end{aligned}$$

봄베이 표현형(Bombay phenotype)

- H 대립 유전자는 푸코오스 전달효소의 정보를 담고 있는데, 이 유전자에 돌연변이가 일어나서 푸코오스 전달효소의 활성이 없는 h 대립 유전자가 생김
- hh 유전형인 사람들에서 푸코오스 첨가 반응이 일어나지 않으면, 갈락토오스 전달효소는 푸코오스가 없는 당 구조를 기질로 인식하지 못하기 때문에 N-아세틸 갈락토사민이나 갈락토오스를 더 연결하지 못함
  - 혈액형 검사 시 항-A 혈청, 항-B 혈청 모두와 응집 반응을 하지 못해 O형처럼 보임



Rh식 혈액형

- 1번 염색체 단완의 RHD 유전자 좌위에 수십 가지 복대립 유전자들이 올 수 있음
  - D 대립 유전자가 있으면 막단백질인 RhD 항원이 합성됨 → Rh<sup>+</sup>
  - 다른 대립 유전자들만 있으면 막단백질이 합성되지 않음 → Rh<sup>-</sup>

• ABO식 혈액형 : 적혈구 표면의 당 구조가 항원으로 작용하기 때문에, 혈액이 모체로 넘어가도 모체 면역계에서 T 세포들이 활성화되지 못해 B 세포가 IgM 항체만 분비함  
→ 오량체인 IgM은 크기가 너무 커서 태반을 통과하지 못해 태아를 공격할 수 없기 때문에 모체가 다른 혈액형의 태아를 임신해도 큰 문제가 되지 않음

• Rh식 혈액형 : 적혈구 표면의 단백질 성분이 항원으로 작용하기 때문에, 혈액이 모체로 넘어가면 모체 면역계에서 T 세포들이 활성화 되어 B 세포에 신호를 줘서 IgG 항체가 분비됨  
→ 단량체인 IgG는 크기가 작아 태반을 쉽게 통과하기 때문에 태아를 공격해서 적아 세포증을 일으킴

- 예방법 : 산모에게 인공 항체(항-RhD 항체)인 로감(Rhogam)을 임신 28주 경부터 주기적으로, 그리고 출산 후 72시간 내에 투여해서 체액성 면역 반응이 일어나지 못하게 함

모체에서 항체가 생기는 것을 방지함.

9.

<p>원핵생물</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ρ-의존적 종결                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– ρ 인자(헬리케이스 활성이 있음)가 mRNA의 rut(rho utilization site) 서열을 인식해 결합해서 RNA 합성효소를 쫓아감</li> <li>– 전사 종결 부위에서 mRNA의 3' 말단이 줄기-고리 구조를 이루면 NusA 단백질이 붙어서 RNA 합성효소의 전사 진행을 막음</li> <li>– ρ 인자가 RNA 합성효소를 따라 잡으면 mRNA와 DNA 주형 가닥의 상보쌍을 벌려 RNA 합성효소에서 mRNA를 완전히 분리함</li> </ul> </li> <li>• ρ-비의존적 종결                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– 전사 종결 부위에서 mRNA 3' 말단의 GC 염기들이 줄기-고리(Stem-loop) 구조를 만듦</li> <li>– NusA 단백질이 붙어서 RNA 합성효소의 전사 진행을 막음</li> <li>– 줄기-고리 구조에 바로 이어져 전사된 6개의 우라실 염기들은 DNA 주형 가닥의 아데닌 염기들과 약한 상보쌍을 이뤄서 쉽게 벌어지기 때문에 RNA 합성효소에서 mRNA가 완전히 분리됨</li> </ul> </li> </ul>
<p>진핵생물</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 전사 종결 부위에서 mRNA의 3' 말단에 AAUAAA 서열이 합성됨</li> <li>• 핵산내부가수분해효소가 AAUAAA 서열에 붙어서 약 20 염기 서열 떨어진 지점을 절단하면 RNA 합성효소 II에서 mRNA가 완전히 분리됨</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– 전사 종결 부위에서 mRNA의 3' 말단에 AAUAAA 서열이 합성되면, 핵산내부가수분해효소가 AAUAAA 서열에 붙어서 약 20 염기 서열 떨어진 지점을 절단함</li> <li>– 폴리 A 합성효소가 절단된 곳에 80~250개의 A 염기들을 주형가닥 없이 연장함</li> </ul> <p>폴리 A 꼬리 길이에 따라 번역량이 조절됨(폴리 A 꼬리 길이 ↑ → 번역량 ↑)</p>

10.

<p><b>전이인자(Transposable element)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 한 세포의 염색체 내에서 다른 자리로 전위(Transposition) 할 수 있는 유동적인 DNA 서열                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– 항상 숙주 DNA에 삽입된 상태로 있음</li> </ul> </li> <li>• 트랜스포존(Transposon)과 레트로트랜스포존(Retrotransposon)으로 나뉨</li> <li>• 원핵생물, 진핵생물 모두에서 관찰됨</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전이인자가 염색체의 원래 자리에서 빠져나와서 다른 자리로 옮겨감                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– 전위효소가 발현되면 양 끝의 IR 서열을 인식해서 잘라냄</li> <li>– 무작위로 표적 서열을 절단한 후, 트랜스포존을 사이에 넣고 연결함</li> </ul> </li> </ul>	<p>전위효소</p> <div> <div>전이인자 절단</div> <div>표적 DNA 절단</div> <div>표적 DNA와 전이인자의 연결</div> </div>
<p>삽입서열(Insertion sequence)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 약 750~1600bp의 작은 크기                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– 중심에 전위효소(Transposase) 유전자만 지니고 있음</li> <li>– 양 끝에 15~25 염기 서열의 역반복 서열(Inverted repeat, IR)이 있음                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– 전위효소가 발현되면 양 끝의 IR 서열을 인식해서 트랜스포존을 다른 자리로 옮겨줌</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	

**레트로트랜스포존(Retrotransposon)**

- DNA가 스스로 전위되는 트랜스포존과 달리, DNA에서 전사와 역전사가 일어나서 생긴 cDNA가 전위를 함

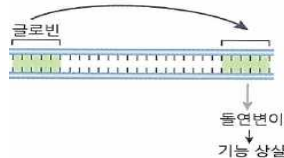
① LTR 레트로트랜스포존

- RNA 합성효소 II가 레트로트랜스포존을 전사함
- 역전사 효소가 mRNA를 cDNA로 역전사 한 뒤, 숙주 염색체에 무작위로 삽입함

레트로트랜스포존의 일부가 코트 단백질을 얻어 숙주 DNA에서 빠져나와 레트로바이러스로 진화했다고 예상함

- 대표적으로 영장류의 Alu가 있음

11.

<p>단일 서열 : 유전자 부위</p> <p>중간반복 서열                     <ul style="list-style-type: none"> <li>연쇄 반복 : 텔로미어, rDNA, tRNA 암호화 부위들</li> <li>산재 반복 : 레트로트랜스포존(LINE, SINE)</li> </ul> </p> <p>고반복 서열 : 중심절을 이루는 위성(Satellite) DNA 서열들</p>	<p>– 고등 생물일수록 반복 서열의 비율이 높고, 생각을 했을 때 반복 서열은 상보가닥과 결합할 확률이 높기 때문에 더 빨리 이중가닥을 형성함</p>
<p>가외성(Redundancy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 두 가지 이상의 서로 다른 효소들이 한 대사 과정에 중복해서 관여하는 경우                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– 어떤 유전자가 염색체 중복 현상으로 여러 개로 복제된 후, 각 유전자 산물들의 기능이 서로 달라지도록 돌연변이가 충분히 일어나지 않았기 때문</li> </ul> </li> </ul>	
<p>※ 위유전자(Pseudogene)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 진화 과정 중 어떤 유전자가 염색체 중복 현상 등으로 여러 개로 복제된 후 일부 유전자가 발현이 안 되는 돌연변이를 일으킨 경우                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– DNA 내에 위유전자와 염기 서열이 매우 비슷한 정상 유전자가 존재함</li> </ul> </li> </ul>	
<p>반복 서열(Short tandem repeat, STR)의 존재</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 염색체에 짧은 DNA 서열이 연쇄 반복되어 있을 경우                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– 상동 염색체들의 연쇄 반복된 서열들 중 같은 위치가 아닌 자리에서 서로 상동 재조합이 일어남</li> <li>– DNA 복제 시 가닥 미끄러짐 현상이 일어남                             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 개체마다 연쇄 반복횟수가 바뀌어서 DNA 절편의 길이가 서로 달라지는 RFLP가 나타남</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵공 복합체는 핵 속에서 가공이 끝난 mRNA를 선택적으로 핵 밖으로 수송함</li> <li>• mRNA의 3' UTR 위치제공 서열(Zip code)에 운송 단백질이 결합하면, mRNA가 세포골격을 따라 세포질의 특정 위치로 이동해서 단백질을 번역함</li> </ul>	



– 아세틸화 : 히스톤의 리신기에 아세틸화가 일어나면 리신기의 양전하가 없어지기 때문에, 히스톤과 인산의 결합력이 약해져서 DNA가 느슨하게 풀림

히스톤의 리신, 아르기닌기에 메틸화가 일어나면 히스톤에 아세틸화가 일어나는 것을 방해하기 때문에 DNA가 풀리지 않도록 조절할 수도 있지만, 메틸기가 히스톤에 여러 개 붙으면 오히려 DNA가 감기는 것을 방해할 수도 있음

12.

스플라이싱 자리 돌연변이

• 인트론의 GU 또는 AG 서열에 돌연변이가 일어나면, 비정상적인 스플라이싱 때문에 mRNA의 길이가 달라질 수 있음

지중해 빈혈( $\beta$ -thalassemia)

–  $\beta$ -글로빈 유전자의 스플라이싱 자리에 돌연변이가 생겨 비정상 mRNA가 돼서 정상  $\beta$ -글로빈 단백질을 합성하지 못함

• 진화는 거시적 관점에서 보면 무작위로 돌연변이가 일어나서 다양한 개체들이 태어난 뒤 자연 선택이 일어나면서 진행되지만, 분자적 관점에서 보면 주로 중립 돌연변이가 일어난 개체들만 태어날 수 있기 때문에 자연 선택과 무관하게 점진적으로 돌연변이가 축적되는 것을 관찰할 수 있음

① 동의 돌연변이 – 침묵, 중립 돌연변이

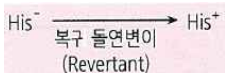
• 돌연변이가 일어나도 생물에 큰 영향을 주지 않아서 자손들에게 돌연변이가 계속 축적될 수 있음

② 비동의 돌연변이 – 미스센스, 넌센스 돌연변이

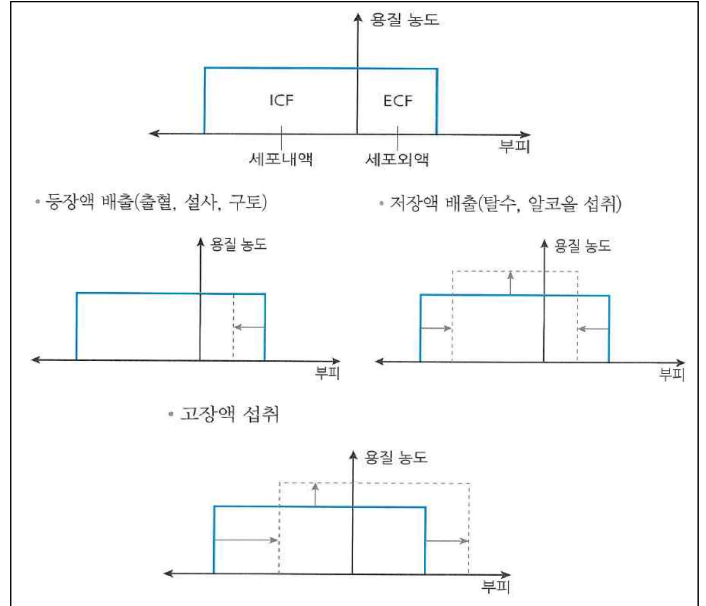
• 돌연변이가 일어나면 생물에 치명적이기 때문에 자손들에게 돌연변이가 전달되기 어려움

• 간세포의 황달 소포체에 있던 시토크롬 P-450이 돌연변이원의 반응성을 높여줌

• 돌연변이원 의심물질의 농도가 높아질수록 콜로니 수가 증가함



13.



(i) 저나트륨 혈증(Hyponatremia)

• 망물의 과다 섭취, 항이뇨호르몬 과다분비, 저알도스테론증, 이뇨제 장기 복용 등의 상황에서 발생함

• 세포내액 양이 증가해서 뇌압이 상승함

– 구토, 두통, 경련, 혼수상태 등을 일으킴

(ii) 고나트륨 혈증(Hypernatremia)

• 소금물의 과량 섭취, 지나친 탈수, 요붕증, 고알도스테론증 등의 상황에서 발생함

• 세포내액 양이 감소해서 뇌의 수축이 일어남

– 두개골과 뇌수막 사이가 벌어지면서 혈관들이 찢어져 출혈을 일으킴

14.

기능 상실(Loss-of-function, LOF) 돌연변이

• 유전자에 돌연변이가 일어나서 단백질 산물이 정상적인 기능을 못하게 된 경우

• 보통 돌연변이가 일어난 유전자가 열성이 됨

• 관리 유전자(Caretaker gene), 암억제 유전자(Tumor suppressor gene)의 돌연변이들

기능 획득(Gain-of-function, GOF) 돌연변이

• 유전자에 돌연변이가 일어나서 단백질 산물의 조절 도메인이 사라져 계속 활성을 갖게 된 경우

• 보통 돌연변이가 일어난 유전자가 우성이 됨

• 원암 유전자(Proto-oncogene)의 돌연변이

동형이합 수용체(Homodimeric receptor)

• 코르티솔, 에스트로겐 등의 지용성 분자들

– 세포막을 단순확산 해서 통과한 뒤 세포질에 있던 수용체와 결합함

– 리간드와 결합한 수용체가 핵으로 이동해서 역반복 서열로 이루어진 조절 서열에 붙어 유전자들의 전사를 조절함



<p><b>이형이합 수용체(Heterodimeric receptor)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>비타민 D<sub>3</sub>, 티록신, 레티노산 등의 지용성 분자들</li> <li>RXR(Common nuclear receptor monomer)과 특이 수용체의 이량체로 구성된 이형이합 수용체가 정반복 서열로 이루어진 조절 서열에 항상 붙어 있음                     <ul style="list-style-type: none"> <li>리간드 없음 : 유전자의 전사를 억제</li> <li>리간드 결합 : 유전자의 전사를 촉진</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>우성-음성(Dominant-negative) 돌연변이</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>각 소단위체가 모두 정상 유전자의 산물들로 이루어졌을 때에만 활성을 갖는 다단위 단백질</li> <li>돌연변이 유전자 산물이 일부 소단위체를 구성하면 단백질의 활성이 없음</li> <li>정상 유전자와 돌연변이 유전자의 이형 접합자에서 정상 유전자 산물과 돌연변이 유전자 산물들이 각각 합성되면, 이들이 무작위로 조립될 때 활성이 없는 단백질이 될 확률이 매우 높음</li> <li>돌연변이 유전자가 정상 유전자에 대해 우성이 됨</li> </ul>
<p><b>PDGF(Platelet-derived growth factor)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>활성화된 혈소판에서 방출해서 혈관의 형성과 성장에 관여함</li> </ul> <p>Simian sarcoma virus에서 발견되는 발암 유전자</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>바이러스가 숙주 세포에 감염되면 PDGF를 과량 분비해 주변 표적 세포들의 분열을 유도해서 종양을 형성함</li> </ul>
<p><b>EGFR(Epidermal growth factor receptor)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>세포의 분열과 성장을 유도하는 신호를 전달하는 티로신 카이네이스 수용체</li> <li>리간드가 결합하지 않으면 수용체 도메인이 티로신 카이네이스 도메인의 활성을 억제하고, 리간드가 결합하면 구조가 바뀌어서 티로신 카이네이스 활성이 나타남</li> </ul> <p>Avian erythroblastosis virus(AEV)에서 발견되는 발암 유전자</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>수용체 도메인이 결실돼서 항상 티로신 카이네이스 활성이 나타나기 때문에 바이러스에 감염된 세포가 계속 분열해서 종양을 형성함</li> </ul>
<p><b>HER2(Human epidermal growth factor receptor)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>유방암 환자의 약 25%에서 이상이 발견됨</li> <li><i>v-erbB2</i> 유전자가 HER2 단백질을 과량 발현해서 세포질 내로 과도한 세포 분열 신호를 전달해 종양을 형성함</li> </ul>
<p><b>Myc</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>세포 분열과 관련된 여러 유전자들의 전사를 조절함</li> </ul> <p>버킷림프종에서 과량 발현 돌연변이가 일어나서 과도한 세포 분열을 일으켜 종양을 형성함</p>

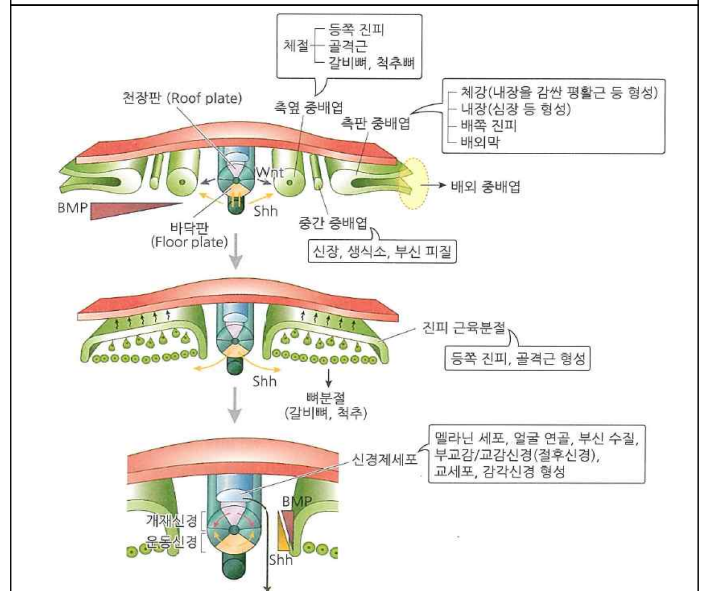
15.

<p><b>모계 유전자(Maternal gene)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>수정 후 배아의 양 끝에 분포하던 <i>bicoid</i>, <i>nanos</i> mRNA가 번역되어 세포질을 따라 확산됨</li> <li>배아 전체에 골고루 퍼져 있던 모계 유래 <i>bunchback</i>, <i>caudal</i> mRNA의 번역을 조절함</li> </ul>
<p><b>간극 유전자(Gap gene)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>농도 기울기를 형성한 모계 단백질들이 배아의 유전자에서 발현을 유도함</li> <li>배아를 적당한 폭으로 나눠주는 역할을 함</li> <li>결실 돌연변이 시 몇 개의 연속된 체절(segment)이 사라짐</li> </ul>

<p><b>쌍지배 유전자(Pair-rule gene)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>여러 개의 줄무늬 형태로 발현되어 배아를 15개의 마디로 나눔</li> <li>결실 돌연변이 시 한 칸씩 건너 체절이 없어져서 정상 배아의 절반의 체절을 가짐</li> </ul>
<p><b>체절 극성 유전자(Segment polarity gene)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>확립된 체절들의 규칙성을 강화하고, 체절 내에서 세포의 운명을 확립함</li> <li>결실 돌연변이 시 각 체절마다 결실, 중복, 역전과 같은 결함들이 나타남</li> </ul>
<p><b>호메오틱 유전자(Homeotic selector gene)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>쌍지배 유전자와 체절 극성 유전자의 상호 작용에 의해 발현됨</li> <li>각 체절의 정체성을 확립함</li> </ul> <p>유전자마다 약 180염기의 호메오박스 DNA 서열이 있음</p> <p>→ 호메오박스 DNA 부분이 나선 대 나선 구조의 호메오 도메인으로 번역됨</p>

16.

- 등쪽 중배엽에서 유래한 척삭이 위층의 외배엽 세포에 신호를 전달
- 신호를 받은 세포들은 E-카드헤린 대신 N-카드헤린을 발현하는 신경관으로 바뀜
- 신경관 세포들은 미세소관을 재배열 해 길어지고, 정단 끝에 축적된 미세섬유들이 수축하면서 정단면을 조임
- 세포들이 안쪽으로 함입되면서 등극해 합쳐져 신경관 구조를 형성함
- 합쳐지는 부위에는 신경능선 세포(Neural crest)가 생김
- 중배엽은 BMP의 차등적으로 발현에 의해 각각 척삭 중배엽, 축엽 중배엽, 중간 중배엽, 측판 중배엽의 네 부위로 발달함
- 축엽 중배엽은 몸의 앞쪽부터 차례로 틈이 생기면서 세포층이 떨어져 체절(Somite)이라 불리는 몸의 마디를 형성함
- 신경관의 바닥판에서 분비된 Shh가 체절의 배쪽 부분을 뼈분절로 유도함
- 뼈분절 세포들은 체절에서 떨어져 나와 이동해서 대부분 척추뼈와 갈비뼈 연골의 전구체가 됨
- 남은 체절의 세포들은 진피근육 분절을 유지하며, 이 중 일부가 등쪽의 진피층을 형성하고 나머지 부분들은 척추동물에서 머리 근육을 제외한 모든 골격근을 형성함
- 척삭 대부분은 세포자살로 퇴화되고, 일부 남은 세포들은 척추뼈 사이에서 디스크를 이룸



- 신경관은 척삭의 Shh, 등쪽 외배엽의 TGF- $\beta$  신호에 의해 각각 바닥판과 지붕판이 유도됨
- 이어서 바닥판과 지붕판에서 분비되는 Shh, TGF- $\beta$ 의 기울기를 따라 신경관의 배측은 운동신경, 등측은 여러 가지 개재신경들이 발달함
- 신경능선은 간충직 세포로 바뀌어서 배아 내부를 이동하다가 일부 세포가 등쪽 신경절에 위치해서 감각신경으로 발달함

17.

**1) 세르톨리 세포**

- 세정관 벽을 이루고 세포들 사이에 밀착연접이 발달돼서 BTB(Blood-testis barrier)를 형성함
  - 물질들이 세정관 내강으로 선택적으로 이동하도록 조절해서 정자에 대한 면역 반응을 일으킴
- 정자 생성을 조절하고, 인히빈을 분비해서 FSH 분비를 음성 피드백 조절함
- ABP(Androgen-binding protein)를 합성해 세정관 내강으로 분비해서 테스토스테론이 높은 농도로 유지되게 함
- 세정관 내강으로 액체를 분비해 정자가 부정소로 이동할 수 있게 함
- 정자와 간극연접으로 연결되어 있어서 분화하는 정자에 포도당을 젖산으로 전환해 양분으로 공급함
- 세정관에서 식세포 역할을 수행

**2) 부정소(2개)**

- 정소에서 배출된 정자가 약 20일간 머무는 장소
- 세정관에서 분비된 액을 흡수해 정자를 농축하고 정자가 운동성과 수정 능력을 갖게 함

**3) 정낭(2개)**

- 정액 성분의 대부분을 만들어 사정관으로 분비함
  - 과당 : 정자의 에너지원으로 사용됨
  - 프로스타글란딘 : 남성, 여성의 생식관을 수축시킴
  - 피브리노겐 : 방출된 정액이 응고되어 여성의 질 벽에 달라붙게 함

**4) 전립선(1개)**

- 사정관으로 알칼리성 물질을 분비해서 여성의 질 내 산성 환경을 중화함
  - 응고인자 : 정액이 질 벽에 달라붙게 함
  - 피브린 분해효소 : 달라붙은 정액이 풀어져서 정자가 다시 운동을 할 수 있게 해 줌

**5) 발기**

- 척수 반사에 의해 일어나며, 천수에 발기 증추가 존재함
- 귀두의 기계적 수용기 자극 시 부교감 신경 활성화 ↑, 교감 신경 활성화 ↓
  - 아세틸콜린 신호를 받은 혈관 주변의 내피 세포가 NO를 방출해 소동맥 평활근을 이완시킴
  - 혈액이 발기 조직으로 유입되어 조직이 커지면 정맥을 압박해서 혈액이 고여 있게 함
- 부교감 신경이 요도 방울샘의 점액 분비를 촉진해서 윤활 작용을 하게 함

**6) 생식선 호르몬**

시상하부 → GnRH (성선 자극호르몬-유리호르몬) → FSH 분비세포, LH 분비세포

FSH 분비세포 → FSH → 세르톨리 세포 → 정자생성 → 인히빈

LH 분비세포 → LH → 레이디히 세포 → 테스토스테론

세르톨리 세포 ↔ 레이디히 세포

정소

18.

**단기 기억**

- 감각신경 말단의 채널에 변화가 생겨서 신경 전달 물질 분비량이 바뀜
- 일시적 변화이기 때문에 오래 지속되지 못함

**1) 습관화**

- 수관을 계속 건드리면 감각신경 말단의 전압 개폐성  $Ca^{2+}$  채널이 폐쇄됨
- 자극을 줘도 감각신경 말단에서 신경 전달 물질의 분비가 잘 안 됨
- 운동신경의 수용기 전위가 작아져서 아가미의 움츠림이 잘 일어나지 않음

**2) 민감화**

- 수관에 강한 충격을 가하면 주변의 축진성 연합뉴런이 세로토닌을 분비해서 감각신경 말단의 전압 개폐성  $K^{+}$  채널(세로토닌-민감성  $K^{+}$  채널)을 폐쇄함
- 자극을 주면 감각신경 말단의 활동 전위가 더 오래 지속해서 신경 전달 물질 분비가 증가함
- 운동신경의 수용기 전위가 커져서 아가미의 움츠림이 과도하게 일어남

**절차 기억**

- 회상하거나 묘사할 수 없는 기계적 행동(자동차 운전 기술 등)에 대한 기억들
- 해마 대신 소뇌, 주 운동 피질, 체성감각 피질, 시각 처리 영역 등이 관여함

**서술 기억**

- 의식이 개입되는 사람, 장소, 사건, 사물 등에 대한 기억들
- 해마와 여러 대뇌 피질 부위들이 관여함

- 반복적인 강한 자극에 의해 시냅스의 연결이 확장됨
- 기억이 저장 공간에 오래 남아있게 됨

해마 내의 시냅스 변화가 두드러지게 나타나며, 해마에 일시적으로 저장된 새로운 장기 기억은 곧 영구적인 저장 공간인 피질 영역으로 옮겨져 시냅스 변화를 일으킴

- 반복적 자극이 생기면 AMPA 수용체 채널이 열려 발생한 시냅스 후 전위가 증폭돼서 CA1 신경에서 큰 수용기 전위가 발생함
  - NMDA 수용체 채널의  $Mg^{2+}$  플러그가 빠지면서  $Ca^{2+}$  유입이 시작됨

→ 초기-LTP(Long-term potentiation) 개시

19.

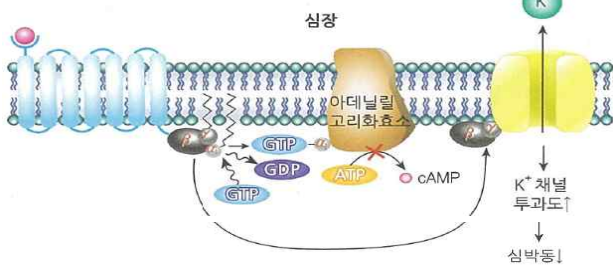
**무스카린 수용체 : 대사성 수용체**

- 부교감신경의 표적세포들에서 발견되는 G-단백질 연결 수용체
- 절후신경 말단에서 분비된 아세틸콜린과 결합함
- 세포 신호 전달 경로를 통해 표적세포의 반응이 일어남

**평활근과 분비선**

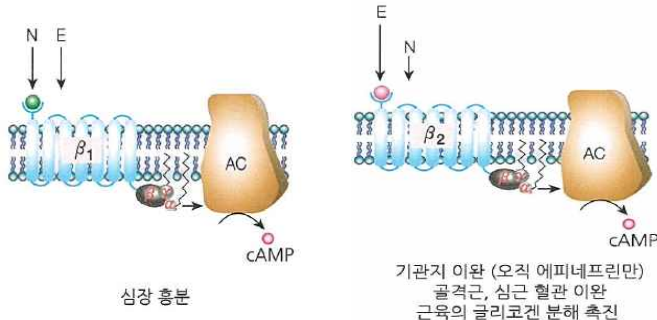
PLC → IP<sub>3</sub> → Ca<sup>2+</sup> ↑ → 미오신 인산화 → 근수축 유발 (소화기 운동 촉진)





아드레날린 수용체들 : 대사성 수용체

- 교감신경의 표적세포들에서 발견되는 G-단백질 연결 수용체
- 절후신경 말단에서 분비된 노르에피네프린과 결합함



교감신경 : 가슴, 허리 신경으로부터      부교감신경 : 뇌간, 영치 신경으로부터

- 혈관 : 교감신경만 연결됨(발기 관련 혈관만 교감, 부교감신경 모두 연결됨)
- 한신 : 절후신경 말단에서 아세틸콜린을 분비하는 교감신경만 연결됨
- 침샘, 눈물샘 : 교감, 부교감신경이 표적세포에 대해 서로 길항적으로 작용하지 않음

효과기관	부교감신경 반응*	교감신경 반응	아드레날린성 수용체
눈의 동공	수축	팽창	$\alpha$
침샘	물 분비	점액, 효소	$\alpha, \beta_2$
심장	느린 박동	박동수와 수축력 증가	$\beta_1$
세동맥과 정맥	-	수축 확장	$\alpha, \beta_2$
폐	세기관지 수축	세기관지 확장	$\beta_2^{**}$
소화관	운동성과 분비 증가	운동성과 분비 감소	$\alpha, \beta_2$
외분비성 췌장	효소 분비 증가	효소 분비 감소	$\alpha$
내분비성 췌장	인슐린 분비 자극	인슐린 분비 억제	$\alpha$
부신수질	-	카테콜아민 분비	-
신장	-	레닌 분비 증가	$\beta_1$
방광	오줌의 방출	오줌의 방출 억제	$\alpha, \beta_2$
지방조직	-	지방 분해	$\beta$
땀샘	-	국부적인 발한	무스카린성 수용체
남성과 여성의 생식기관	발기	사정(남성)	$\alpha$
자궁	주기에 의존	주기에 의존	$\alpha, \beta_2$
림프조직 (그림에 없음)	-	일반적으로 억제성	$\alpha, \beta_2$

\*모든 부교감신경 반응은 무스카린성 수용체에 의해 중재됨

\*\*오직 호르몬성 에피네프린

	체성신경	자율신경	
		교감	부교감
구성신경	1	2	2
특성	흥분성	흥분성 또는 억제성	
속도	빠름 (유수)	느림 (절전신경·유수, 절후신경·무수)	
표적	골격근	평활근, 분비선, 심근, 지방조직	
분비위치	축삭 말단	염주와 축삭 말단	
최후분비물질	아세틸콜린	노르에피네프린, 에피네프린	아세틸콜린
수용체	니코틴 수용체	아드레날린 수용체	무스카린 수용체
신경기원	뇌, 척수	가슴, 허리신경	뇌간, 영치신경
절전길이		짧다	길다

20.

I 형 당뇨병(인슐린 의존형)

- 자가 면역 질환 →  $T_C$  세포들이 활성화 되어  $\beta$  세포를 파괴 → 인슐린 분비가 결핍됨
- 글루카곤에 의해 방출된 과량의 지방산이 간에서 케톤체로 전환되어 대사성 산증이 나타남
- 체중 감소

인슐린 결핍

ㄱ) 포도당

- 세포들의 포도당 흡수 ↓ → 이자  $\alpha$  세포의 포도당 유입 ↓ →  $\alpha$  세포의 글루카곤 분비 ↑ → 간의 포도당 방출 ↑ → 혈당 ↑ (식욕 자극에도 불구하고 체중 감소가 나타남)
- 원노 포도당 ↑ → 신장의 포도당 재흡수를 초과로 당뇨 발생
- 원노 삼투 ↑ → 수분 재흡수 감소로 인한 탈수, 갈증 유발(삼투성 이뇨)
- 혈액 감소 → 말초 순환 장애
- 뇌혈류 감소로 인한 뇌세포 수축과 여과력 감소로 인한 신부전증 발생
- 백내장 : '포도당 → 소르비톨 → 과당'의 대사 과정이 촉진되어 수정체 세포 내에 소르비톨이 축적되면, 높은 삼투압이 걸려서 세포 사멸이 일어남

ㄴ) 지질

- 중성지방 합성 ↓, 지방 분해 ↑ → 지방세포에서 지방산이 방출됨
- 간의 케톤체 방출 ↑ → 대사성 산증
- 산증으로 인한 뇌기능 부전, 당뇨병 혼수 또는 사망
- 혈중 pH 조절 위해 호흡을 통한  $CO_2$  배출 ↑ → 아세톤이 함께 배출되며 과일향 발생

ㄷ) 단백질

- 근육 단백질 분해 → 골격근 약화(성장 감소)
- 혈중 아미노산 ↑ → 간의 포도당 신생합성(고혈당 악화)

II 형 당뇨병(인슐린 비의존형)

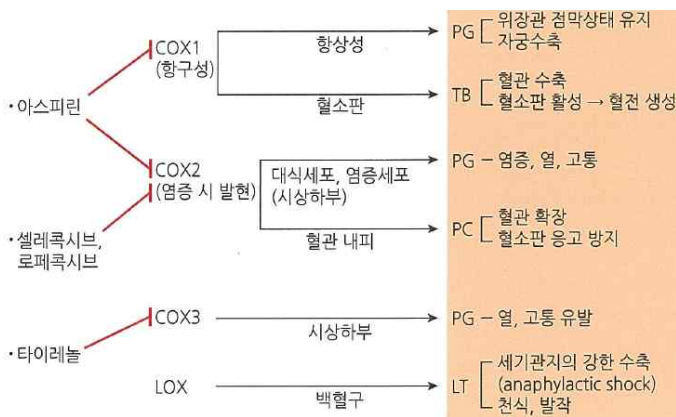
- 평소 지나친 포도당 섭취로 혈당 ↑ → 인슐린 분비가 정상인과 비슷하거나 높게 유지됨 → 표적세포들의 인슐린 민감도가 감소함
- 글루카곤이 혈중 지방산을 높이지만 보통 대사성 산증을 나타내지는 않음
- 비만

- 혈당 ↑ →  $\beta$  세포가 직접 인식 → 인슐린 분비
- 혈당 ↑ → 시상하부가 인식 → 부교감 신경계 활성화 → 인슐린 분비
- 소화관 내 음식물 때문에 부교감 신경이 활성화 되거나 위장관 호르몬인 GIP가 분비됨 → 인슐린 분비

- 작용
  - 골격근 세포의 GLUT4 발현을 높여 포도당 흡수를 촉진함, 골격근과 간의 글리코겐 합성 촉진 및 포도당 신생합성 억제를 통해 혈당을 낮춤
  - 해당과정을 통해 포도당을 지방산으로 전환해 중성지방 합성을 유도하고, 지방세포의 지방 분해를 억제함
  - 세포 내 단백질 합성을 촉진해서 혈중 아미노산 농도를 낮춤

21.

- 20개의 탄소로 이루어진 지방산 유도체 → 지용성 분자
- 불안정한 구조 → 국부 호르몬으로 작용함
- 다양한 조직에서 세포막의 아라키돈산이 유리돼서 프로스타글란딘(Prostaglandin, PG), 트롬복산(Thromboxane, TB), 류코트리엔(Leukotriene, LT), 프로스타사이클린(Prostacyclin, PC) 등으로 바뀌어 여러 가지 생리 작용들을 조절함



## 여러 가지 진통제들

- 아스피린(비스테로이드 항염제, NSAID) : COX1, COX2 효소들의 비가역 저해제
  - 염증세포들의 PG 생성을 막아서 소염, 해열, 진통 효과를 보임
  - 혈소판의 COX1 저해 : 혈소판은 핵이 없기 때문에 새로 효소를 합성하지 못함 → 혈전 생성 억제제
  - 혈관내피의 COX2 저해 : 혈관내피 세포는 핵이 있기 때문에 새로 효소를 합성함
  - 위장관의 PG 합성을 막으면 점막의 안정성이 떨어지기 때문에 위장관 질환이 생김
- 셀레코시브, 로페록시브 : COX2 효소 저해제
  - 염증세포들의 PG 생성을 막아서 소염, 해열, 진통 효과를 보임
  - 혈관내피의 COX2를 저해하기 때문에 혈전이 과도하게 생김
- 타이레놀 : COX3 효소 저해제
  - 시상하부의 PG 생성을 막아서 진통 효과를 보임

22.

## 음정

공명 현상에 의해 각 소리의 파장이 기저막의 특정 부위를 진동시킴. 이때 기저막에서 정상파를 형성하는 부분의 진폭이 가장 크며, 진동하는 각 정보가 뇌로 전달되는 과정에서 측부 억제를 통해 가장 큰 진폭의 정보만 받아들여지게 됨.

- 음정 : 난원창에서 가까운 곳이 진동할 경우 높은 주파수, 먼 곳이 진동할 경우 낮은 주파수로 인식됨
- 음량 : 기저막 각 지점의 진폭이 커질수록 더 큰 소리로 인식됨
- 음색 : 기저막의 여러 지점이 동시에 진동하면 중추 신경계가 이 정보들을 통합해서 소리의 특색을 파악함

## 와우(Cochlea)

- 전정기관과 함께 내이를 구성함
- 가운데에 내림프로 채워진 달팽이관과 위, 아래에 외림프로 채워진 전정계, 고실계가 놓여 있음
  - 전정계와 고실계는 와우의 끝에서 와우공(Helicotrema)을 통해 서로 연결되어 있음
  - 달팽이관은 전정막에 의해 전정계와 분리되고, 기저막에 의해 고실계와 분리됨
  - 기저막 위에 코르티 기관이 있어서 청각의 성립에 관여함

- 내림프 : 달팽이관을 채우는 림프액으로, 일반적인 체액과 달리 K<sup>+</sup>의 농도가 높음

- 유모세포의 섬모들은 서로 단백질 다리로 연결되어 있음
  - 긴 섬모 쪽으로 구부러질 때 단백질 다리가 기계적 개폐성 K<sup>+</sup> 채널을 잡아당겨서 더 잘 열림
  - 반대쪽으로 구부러질 때 기계적 개폐성 K<sup>+</sup> 채널이 닫혀서 과분극이 일어남

## 이석기관

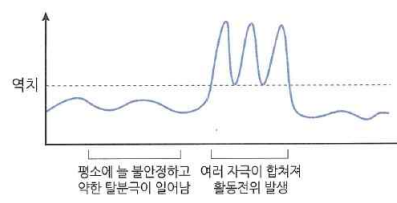
- 유모세포의 섬모를 감싼 젤라틴 층 위에 탄산칼슘의 이석(Otolith)이 얹어져 있음
  - 몸의 움직임에 따라 이석이 한 쪽으로 치우쳐 젤라틴 층 속에 묻혀 있는 섬모를 휘게 함
  - 섬모의 기계적 개폐성 K<sup>+</sup> 채널이 탈분극 또는 과분극 되면, 젤라틴 층의 내림프에서 K<sup>+</sup>의 유입량이 달라짐
  - 난형낭(Utricule) : 몸의 기울임이나 수평 가속력을 인식
  - 구형낭(Sacculle) : 몸의 기울임이나 수직 가속력을 인식

## 반고리관

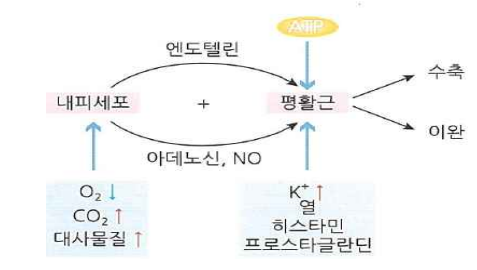
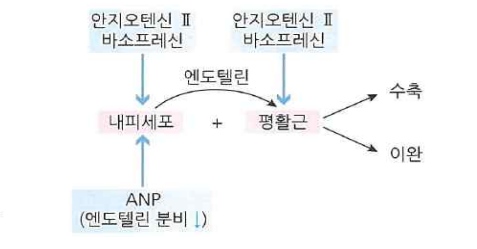
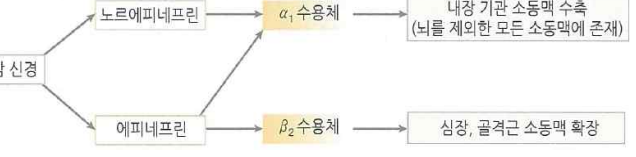
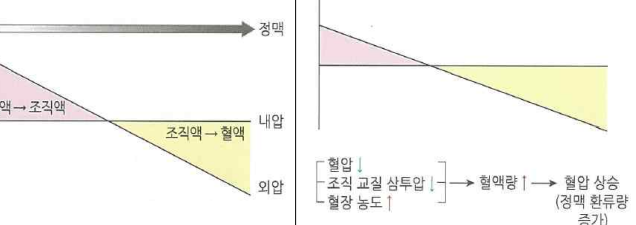
- 세 개의 반고리관이 서로 직각으로 3차원으로 배열되어 있음
- 반고리관 속에 내림프가 채워져 있어서 유모세포가 내림프의 흐름에 따라 휘어지게 됨
  - 회전 운동을 시작하면 멈춰 있으려는 림프액의 관성 때문에 섬모가 뒤로 휘
  - 회전 운동을 유지하면 림프액이 몸과 함께 회전해서 섬모가 꼰꼰하게 켜
  - 회전 운동을 멈추면 계속 회전하려는 림프액의 관성 때문에 섬모가 앞으로 휘

- 유스타키오관 : 고막 안팎의 기압을 맞추기 위해 중이 공간과 인두를 연결하는 관
  - 평소 닫혀 있다가 음식을 씹고 삼키거나 하품을 할 때 일시적으로 열려서 중이 압력을 대기압과 맞춰줌

23.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방추형의 단핵 세포                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 골격근에 비해 세포 크기가 작고 T-소관이 발달되어 있지 않음</li> </ul> </li> <li>• 근원섬유들이 나란히 배열되어 있지 않아서 근절의 따무늬를 관찰할 수 없음                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 트로포미오신이 가는 필라멘트에 결합해 안정화 하고 있지만 트로포닌은 관찰되지 않음</li> <li>- Z원반 대신 똑같은 단백질로 이루어진 치밀체가 있음</li> </ul> </li> </ul>
<p>다단위 평활근(골격근과 유사)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 세포들 사이에 간극 연결이 거의 없어서 자율 신경이 평활근 각각을 개별적으로 자극 해서 수축시킴</li> <li>• 모두 위상성 평활근에 해당함</li> <li>• 큰 혈관벽, 기도, 홍채, 모근 등</li> </ul> <p>단일단위 평활근(심장근과 유사)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 세포들 사이에 간극 연결이 발달되어 있어서 조율기 세포가 자동적으로 만든 활동 전위가 모든 세포들로 전달돼서 동시에 수축함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자율 신경은 조율기 세포에서 활동 전위 발생의 템포를 조절함</li> </ul> </li> <li>위상성 평활근 : 조율기 세포가 간헐적으로 활동 전위를 만들</li> <li>긴장성 평활근 : 특별한 자극 없이 지속적으로 수축을 유지함</li> <li>• 대부분의 평활근들</li> </ul>
<p>서파전위(주로 소화기 평활근)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Na}^+/\text{K}^+</math> 펌프 등의 작용으로 <math>\text{Na}^+</math>의 유입, 유출이 계속 일어나서 막전위가 일정하게 유지되지 않음                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반적으로 전압 개폐성 채널들의 역치 이하 값으로 막전위가 변하기 때문에 활동 전위가 발생하지 않지만, 다른 신호들이 와서 막전위를 높이면 역치를 넘어서서 활동 전위가 생길 수 있음</li> </ul> </li> </ul> 
<p>평활근의 수축 조절</p> <p>(i) 자율신경</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 교감, 부교감 신경의 자극으로 세포질 내 <math>\text{IP}_3</math>, cAMP 등의 농도 변화가 생김</li> <li>• 세포막과 소포체막의 <math>\text{Ca}^{2+}</math> 채널들이 열려서 평활근들의 수축 강도를 조절함</li> </ul> <p>(ii) 근육의 신장</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 평활근이 신장하면 세포막의 인장 개폐성 <math>\text{Ca}^{2+}</math> 채널이 열려서 세포질 내 <math>\text{Ca}^{2+}</math> 농도가 높아져 수축 강도가 더 세짐</li> </ul> <p>(iii) 호르몬</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 각종 호르몬들이 세포막과 소포체막의 <math>\text{Ca}^{2+}</math> 채널들의 개폐를 조절함</li> </ul>
<p>평활근의 수축 기작</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 여러 가지 자극으로 세포막의 <math>\text{Ca}^{2+}</math> 채널들이 열려서 세포질로 <math>\text{Ca}^{2+}</math>이 유입됨</li> <li>• 근소포체의 리아노딘 수용체가 열려서 세포질로 <math>\text{Ca}^{2+}</math>이 방출됨 (자율신경이 세포신호 전달계를 활성화해서 근소포체에서 <math>\text{Ca}^{2+}</math>이 방출될 수도 있음)</li> <li>• 세포질의 <math>\text{Ca}^{2+}</math>은 칼모듈린 단백질과 결합해서 MLCK(Myosin-light chain kinase)를 활성화 함</li> <li>• MLCK가 미오신의 경사슬을 인산화 하면 미오신 머리가 가는 필라멘트에 결합함</li> <li>• 미오신 머리가 ATP를 가수분해 하면서 활주 운동을 함</li> </ul>

24.

<p>산소 ↓, 이산화탄소 ↑, 대사물질 ↑, 열, 히스타민 등 → 소동맥 이완</p> 
<p>바소프레신, 안지오텐신 II : 소동맥 수축 → 혈압 상승을 일으킴</p> 

 <p>• 수축기 혈압 : 120 mmHg, 이완기 혈압 : 80 mmHg</p> <p>- 심장 주기의 2/3가 이완기, 1/3이 수축기라서 평균 동맥 혈압은 약 93 mmHg가 됨</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 말단부가 닫힌 개시 림프관이 모든 신체 조직에 퍼져 있음</li> <li>• 내피세포들이 겹쳐 있어서 바깥에서 압력이 가해질 때에만 틈이 생겨 물질들이 림프관 속으로 들어갈 수 있음</li> <li>- 모세혈관에서 조직으로 배출된 체액 양이 유입된 양보다 많을 경우, 조직에 남은 과량의 체액이 림프관으로 들어감</li> <li>- 백혈구, 혈장 단백질, 유미입자, 세균 등 크기가 큰 물질들이 유입될 수 있음</li> </ul>



25.

• 신장이 산소 부족을 인식해서 EPO(Erythropoietin)를 분비함  
- 골수의 조혈 모세포에서 적혈구 분화가 촉진됨

EPO → 조혈 모세포 → 적혈모구 (적혈구아세포, Erythroblast) → Hb 합성 → 적혈구

정상 적혈모구(Normoblast) → 망상적혈구(Reticulocyte) → 적혈구

적혈구 → 핵 응축, 방출 → 혈액 속, 방출

mRNA를 이용해 Hb 합성 지속, 리보솜과 소기관 잔재를 지님

Hb 합성 안됨 (리보솜 x, 전사, 번역이 일어나지 않음)

• 간에서 TPO(Thrombopoietin)를 분비하면, 골수의 조혈 모세포에서 혈소판 분화가 촉진됨  
- 거핵세포에서 세포 파편들이 떨어져 나와 혈소판이 됨

간에서 생성 → TPO(Thrombopoietin) → 조혈 모세포 → 거핵세포(Megakaryocyte) → 혈소판

혈소판 : TB를 분비해서 연쇄적인 응집 반응을 일으켜 혈관의 상처를 물리적으로 막음

주변의 정상 내피세포들 : PC를 분비해서 응집 반응이 혈관의 상처 부위에서만 일어나도록 조절함

감별계수 (퍼센트 분포)			
다핵성 과립구	호중구 60~70%	호산구 1~4%	호염구 0.25~0.5%
단핵성 무과립구	단핵구 2~6%	림프구 25~33%	

림프계

• NK 세포 : 바이러스에 감염된 세포나 암세포를 제거함  
- 세포막 표면에 MHC I 발현양이 감소한 세포를 인식해 공격함

골수계

• 수지상세포 : 단핵구(Monocyte)에서 유래한 조직에 상주하는 별 모양의 세포  
림프절로 이동해서 적응 면역 반응을 개시함

• 대식세포(MΦ) : 단핵구가 혈액을 떠돌다가 조직에 침투해서 대식세포가 되며, 조직에서 세균과 각종 찌꺼기들을 섭취함

• 혈액을 떠돌던 호중구, 단핵구는 모세혈관 벽에 부착해서 상처 조직으로 침투함  
구르기(셀렉틴 + 당 결합) → 부착(면역글로불린 + 인테그린 결합) → 침투

내피세포      모세혈관

셀렉틴 + 당 → 호중구, 단핵구 → 조직 침투시 대식세포로 분화

구르기

면역글로불린 + 인테그린 → 부착

26.

골수에서 계속해서 전구세포가 생김 → 흉선으로 이동함 : 이중음성 흉선 세포(CD4<sup>+</sup>8<sup>+</sup>)

각각의 T 세포마다 무작위로 TCR 유전자가 재배열 됨 : 이중양성 흉선 세포(CD4<sup>+</sup>8<sup>+</sup>)

흉선 피질이 제시한 'MHC + 자기항원'에 결합하는 T 세포만 살아남음 → 양성 선택

MHC I 결합 : T<sub>C</sub> 세포(CD4<sup>-</sup>8<sup>+</sup>) : 단일양성 흉선 세포

MHC II 결합 : T<sub>H</sub> 세포(CD4<sup>+</sup>8<sup>-</sup>)

흉선 수질의 APC가 제시한 'MHC + 자기 항원'에 결합하는 T 세포가 제거됨 → 음성 선택

온몸을 순환하다가 'MHC + 자기 항원'과 결합하는 T 세포가 제거됨 → 클론 무감작

혈액에서 다시 <MHC+자기항원>과 결합시 클론 무감작(Clonal anergy)됨.

미경형 T 세포 → T 세포 → 무감작

공동자극(B7-CD28) 없음

2차 림프 기관으로

바이러스 감염된 수지상 세포 (MHC II로 일부 전환)

CD4, CD8, B7, CD28, IL-2, IL-12, IL-18, IFN-γ

조작으로 → 바이러스 감염된 대식세포, 수지상세포 인식  
→ 시토킨 분비(IFN-γ 등)  
→ 염증 반응 유도, 대식세포 활성화

조작으로 → 바이러스 감염된 세포를 제거  
→ 퍼포린, granulysin 이용  
→ Fas 리간드 이용  
→ 시토킨 분비 (IFN-γ, TNF-α, LT 등)

27.

(a) 세포막 IgE에 알레르기 항원의 교차결합

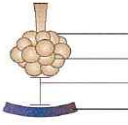
알레르기 항원

IgE

IgE Fc 수용체

비만 세포

28.

<p><b>만성 폐쇄성 폐질환(Chronic obstructive pulmonary disease, COPD)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐가 손상돼서 시간이 지날수록 점점 호흡이 어려워지는 질환들</li> <li>• 기도 저항이 증가함             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 호기 시 늑강 압력이 올라가서 기도를 누르기 때문에 흡기보다 호기에 더 큰 어려움을 겪게 됨</li> </ul> </li> </ul> <p><b>폐기종(Emphysema)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 흡연, 본진 때문에 대식세포가 과도하게 활성화 돼서 염증을 일으키는 질환             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 엘라스틴 분해효소, 트립신 등 단백질 분해효소들이 지나치게 분비돼서 세포의 기질을 파괴함</li> </ul> </li> <li>• 폐포벽이 붕괴돼서 소수의 큰 폐포가 되고, 잦은 기도의 협착으로 인해 잔기 용적이 증가하고 기도의 신축성을 잃게 됨             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 호기가 어려워지고 폐소동맥의 <math>P_{CO_2}</math>가 증가해서 세기관지 말단이 손상됨</li> </ul> </li> <li>• 천식과 비슷하게 호흡이 짧아짐</li> </ul>	
<p><b>천식(Asthma)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 알레르기 반응 시 히스타민이 분비돼서 염증, 점액 분비, 기관지 협착을 일으켜 세기관지를 통과하는 공기 흐름이 폐쇄되는 질환</li> <li>• 히스타민 수용체(H1 수용체) 억제제, 항 히스타민제, 코르티솔 또는 항류코트리엔 약물 등의 염증 억제제, 에피네프린 처리 등으로 증세를 완화할 수 있음</li> </ul>	
<p>천식은 COPD와 비슷하지만 별개의 질환으로 분류한다. COPD는 대식세포들이, 천식은 비만세포들이 관여하고, 천식은 COPD와 달리 기관지 확장제로 기도를 열 수 있다.</p>	<p><b>폐부종</b> : 간질액은 확산 거리를 증가시킴.</p>  <p>정상적인 교환 표면 정상적인 산소 분압 증가된 확산 거리 낮은 산소 분압</p> <p><b>섬유증 폐질환</b> : 두꺼워진 폐포막은 기체 교환을 저하시킴. 폐신전성의 상실은 폐포환기를 감소시킬 수 있음.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐포는 근육이 없어서 스스로 운동할 수 없기 때문에 흉강 압력에 의해 확장, 수축이 일어남             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐의 결합조직은 신축성이 큰 엘라스틴을 다량 함유하고 있음</li> <li>- 호흡 경계면이 물 층으로 덮여 있어서 흡기 후 폐포가 원래 크기로 잘 돌아갈 수 있게 함</li> <li>- 호흡 경계면을 덮은 물 분자들의 표면장력을 줄이기 위해, 제 II형 폐포 세포가 레시틴(계면활성제)을 분비해서 폐가 쉽게 오그라들지 않게 함</li> </ul> </li> </ul>	
<p><b>※ 신생아 호흡장애 증후군 (Newborn respiratory distress syndrome)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 임신 말기에 태아 폐에서 계면활성제가 합성됨             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미숙아들은 계면활성제를 충분히 합성하지 못한 채 태어나기 때문에, 근육 발달이 미숙한 상태에서 폐를 확장하기 어려워 호흡 곤란이 생김</li> </ul> </li> </ul>	

29.

<p>혈관이나 림프관이 발달하지 않은 조직은 면역 세포들이 접근하기 어려워서 적응면역 반응이 일어나지 않기 때문에 조직 이식을 해도 거부반응이 나타나지 않음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 각막, 안구 : 혈관, 림프관이 발달하지 않아서 세포들 사이에 간극 연결을 통해 물질 교환을 함</li> <li>• 뇌, 정소, 자궁 : BBB, BTB, 태반 장벽 등이 발달해서 면역 세포들의 접근을 차단함</li> </ul>
<p>면역 억제 약물을 주입해서 동종이형 이식 조직의 거부반응을 억제함</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 코르티솔 : 염증 반응을 억제해서 APC가 활성화 되지 않게 함</li> <li>• 사이클로스포린 : T 세포 내로 IL-2 신호 전달을 막아서 세포 증식과 분화를 억제함</li> <li>• 항-CD4 항체, 항-CD8 항체 : T 세포에 부적절한 신호를 전달해서 클론 무감작을 유도함</li> </ul>
<p>면역계가 충분히 발달하지 못한 발생 초기 또는 태어난 직후에 동종이형 조직에 노출되면, 노출됐던 동종이형 조직에 대해 평생 동안 거부반응을 하지 않음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 태반을 공유한 이란성 쌍둥이 송아지는 출생 후 서로의 조직을 이식해도 거부반응이 없음</li> <li>• 갓 태어난 생쥐에 동종이형 세포들을 주입하면, 노출됐던 동종이형 조직을 성체가 된 후 다시 이식해도 거부반응이 일어나지 않음</li> </ul>
<p>적혈구는 완전히 성숙하면 핵이 없어져서 더 이상 MHC를 발현하지 않음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ABO, Rh식 혈액형만 일치하면 수혈에 문제가 없음</li> </ul>

30.

$\text{물질 청소율} = \frac{\text{물질의 소변 배설율(mg/min)}}{\text{물질의 혈장 내 농도(mg/ml)}}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신장이 혈장 내에서 어떤 물질을 제거하는 능력을 표현한 값</li> <li>• 일정 시간 동안 신장을 통과해 어떤 물질을 소변으로 완전히 배출하게 되는 혈장량</li> </ul>
<p><b>이눌린, 크레아티닌</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 여과된 후 거의 재흡수, 분비되지 않음</li> </ul>
$\therefore \text{이눌린 청소율} = \frac{\text{이눌린 소변 배설율}}{\text{이눌린 혈장 내 농도}} = \text{사구체 여과율(GFR)}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배설률(mg/min) = 물질의 소변 내 농도 × 분당 소변 배설량</li> </ul>
<p>이눌린의 청소율 값과 비교해서 다른 물질이 재흡수 또는 분비가 일어나는지 확인할 수 있음</p> <p>어떤 물질의 청소율 값 : 여과 후 분비 &gt; 여과만(이눌린 : GFR) &gt; 여과 후 재흡수</p> <p><b>포도당, 아미노산</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 정상인은 여과된 후 모두 재흡수 됨             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 당뇨병 환자는 신장의 재흡수 최대치를 초과한 당이 배설돼서 삼투성 이뇨가 일어남</li> </ul> </li> </ul> <p><b>PAH(Para-aminohippuric acid)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 여과된 후 분비만 일어남</li> </ul>