

## 제 12 회 137 억년 우주의 진화 6 강 노트

(박문호 박사님 강의를 요약 정리한 내용입니다)

생물학은 조금만 안으로 들어가면 단백질과 만난다.

단백질의 종류는 얼마나 되며, 우리 몸 세포 속에 단백질 개수는 얼마나 될까?

### <전 시간 review>

선천 면역: broad, rapid. 후천면역을 얻을 때까지 1주일 버티면 된다.

후천면역: specific, slow. 후천성 면역에는 세포성 면역과 체액성 면역이 있다.

후천면역은 학습이다. 핵심이 B, T 세포이다. D 세포가 훈련시킨다.

APC(antigen presenting cell)는 D 세포, B 세포, Macrophage 세포 이다.

Antigen 을 MHC-I 과 MHC-II 분자에 실어서 제시한다. Antigen 은 recognized molecular by TCR 이다.

인식하는 세포는 Th 세포와 Tc 세포 2 가지 이다. Th 와 Tc 세포는 D 세포로부터 교육을 받았다.

D 세포는 Tc 세포에게는 MHC-I 분자를 통해서, Th 세포에게는 MHC-II를 통해서 Antigen 을 제시한다.

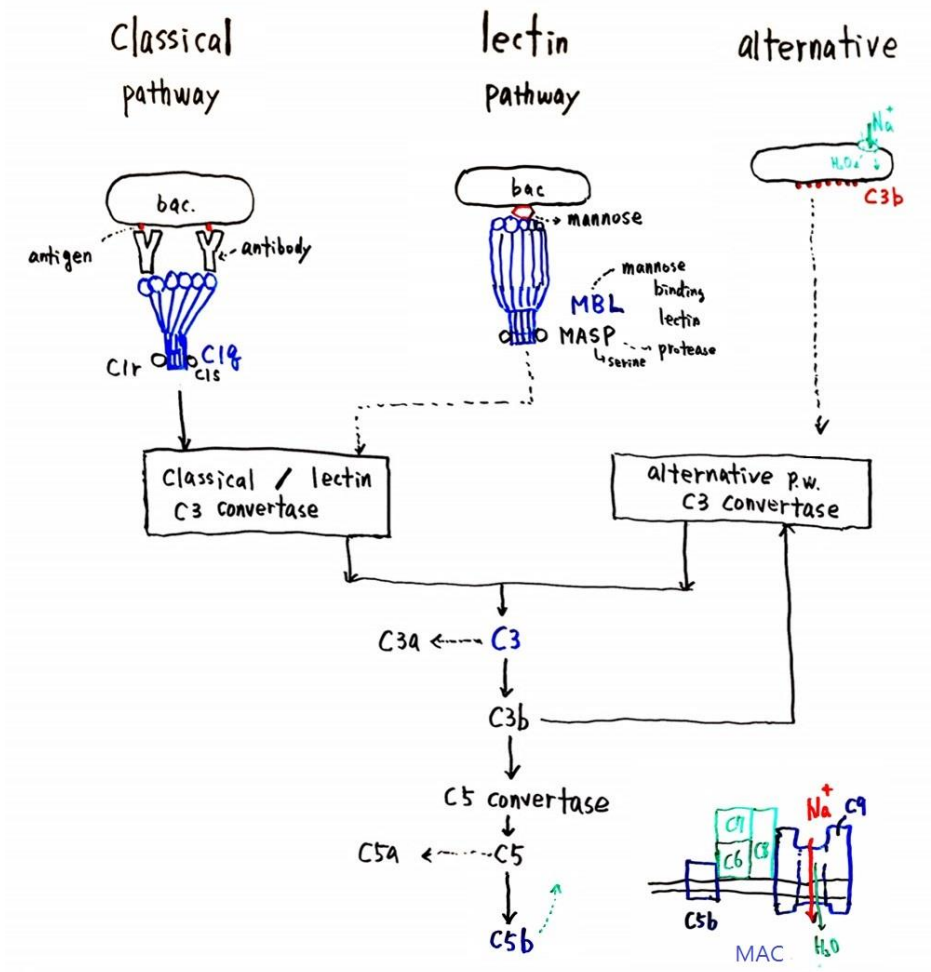
병원균이 세포 바깥에 있는지 세포 안에 있는지가 중요하다. 세포 안에 있으면 감염된 것이다.

감염된 세포는 죽어야 한다. 감염된 세포는 Tc 세포가 세포자살을 명한다.

B 세포는 memory B 세포와 plasma cell 로 분화한다. plasma cell 은 antibody 를 만들어 혈액을 통해 온몸으로 보낸다. Memory B 세포는 후일을 대비한다.

항원(antigen)과 항체(antibody)개념을 확실히 해야 한다.

complement system 은 면역에서 비중이 크다. 면역 시스템이 잘 작동하도록 보조해 주는 단백질 시스템이다.



면역을 깊이 공부하려면 반드시 단백질을 알아야 한다.

면역은 정교한 다 단계 작업이다.

complement system 의 활성화는 특정 세포가 관여하는 것이 아니라, 다양한 complement 단백질들이 단계적으로 활성화 되면서 발동한다.

Complement system 이 완벽하게 활성화 되면 최종적으로 박테리아의 표면에 다양한 단백질들이 결합하여 막공격복합체(MAC: Membrane attack complex)를 형성하여 박테리아를 직접 죽이는 작용이 일어난다.

complement system에는 classical pathway, lectin pathway, alternative pathway 3가지 pathway가 있다.

antigen은 바이러스 혹은 박테리아의 표면에 있다.

### 1)classical pathway

박테리아 antigen에 antibody가 붙는다. antibody는 바이러스 혹은 박테리아 세포 속으로 들어가지 못한다.

Antibody 밑에 C1 q 단백질이 붙고 그 옆에 C1r과 C1s가 붙는다. 그러면 C1 단백질(그 중에서도 C1s 단백질)이 활성화 되면 여러 단계를 거쳐 C3 convertase에 영향을 가해 C3를 C3a와 C3b로 분리한다.

### 2)lectin pathway

박테리아에 있는 mannose 당에 antibody가 붙는다. Antibody에 MBL(mannose binding lectin) 단백질이 붙고, MBL에 MASP(MBL-associated serine protease)단백질이 붙는다. 이것이 C3 convertase를 자극하고, C3 convertase 의 영향으로 C3가 C3a와 C3b로 분리된다.

### 3)alternative pathway

박테리아에 표면에 붙은 C3b가 C3 convertase를 자극하여 C3를 C3a와 C3b로 분리한다.

3가지 경로를 통하여 C3b 단백질이 나오고 C3b는 C5 convertase를 자극하여 C5를 C5a와 C5b로 분리한다.

C5b는 C6, C7, C8, C9 단백질을 결합하여 박테리아 막공격복합체(MAC: membrane attack complex)를 만들어 박테리아 표면에 구멍을 뚫는다. 그러면 그 구멍을 통해 Na이 들어가고, 물이 들어가 박테리아를 죽인다.

지방, 탄수화물, 단백질 중 단백질은 이해하기가 어려웠다.

탄수화물은 명확히 알 수 있었다. 쌀, 밀가루, 고구마, 감자 등은 현실적으로 눈에 보이고 먹으면 배가 부른다.

지방은 참기름이나 콩 기름 등 식물의 씨에서도 나오고 정어리 기름이나 고래 및 동물의 고기에서도 쉽게 파악 할 수 있었다.

그러나 단백질은 이해가 쉽지 않았다. 단백질이라는 개념이 명확히 떠오른 시점이 1789년이다.

최초로 인식된 단백질은 albumin 이라는 달걀 흰자위였다.

단백질이란 개념은 잘못 범주화 되어 있다.

지질은 세포 막을 형성하고 높은 에너지 소스이다. 근육과 심장은 대체로 지질을 에너지원으로 쓴다.

탄수화물은 즉각적 에너지 소스이다.

## 식물적 삶과 동물적 삶의 차이

식물은 글루코스적 삶이다. 셀룰로스적으로 진화했다. 식물은 움직이지 않고 고정되어 있다.

식물은 저장이라는 개념이 핵심이다. 글루코스를 덩이 줄기, 뿌리, 씨앗에 저장했다. 씨 속에는 배와 배젖이 있다.

인류는 식물의 씨앗인 쌀, 밀, 보리, 옥수수를 먹고 살아간다. 저장은 몸체 혹은 씨앗에 저장한다.

식물은 시간적 존재이다. 씨앗을 통해 시간을 통제한다. 나무가 크면 열매가 싹통치 않다.

반면 동물은 프로테인적 삶이다. 단백질 쪽으로 진화했다. 동물은 움직인다. 공간적 삶이다. 에너지를 저장할 수 없다. 동물은 시간을 통제할 수 없다. 발생은 시작하면 stop할 수 없다. 마지막 죽을 때까지 계속된다.

동물은 움직임에 투자한다. 움직이는 이유는 파트너와 먹이를 찾아 움직인다.

탄수화물 지방 단백질을 더 깊이 들어가 보면 탄수화물 밖에 없다.

모든 동물은 식물이 만든 글루코스를 먹고 산다. 글루코스에 대한 욕망은 모든 척추동물의 본능적 욕구이다.

태 속에서 태아의 신경 구조를 만드는 과정도 도파민 분비를 따라 가는데 도파민은 중독과 관련이 있다.

설탕은 중독이다. 포유동물 전체에 해당하는 가장 무서운 중독 중 하나가 설탕중독이다.

생명의 본질은 이산화탄소와 물이다.

생명을 이해하는데 가장 방해되는 요소가 산소이다. 지구 초기 20억년 동안 산소 없이도 박테리아들은 잘 살았다. 산소는 20억년 이후에 출현했다. 기체 상태의 산소는 지구 역사의 40% 밖에 존재하지 않았다.

질소 없이도 생명은 동작한다.

질소는 대기의 78%를 차지한다. 그러나 생명은 대기 중 분자 상태의 질소를 사용할 수 없었다.

자연에서 질소 분자의 사슬을 끊을 수 있는 에너지는 번개뿐이었다. 그러나 박테리아는 질소 분해가 가능했다.

질소가 분해되어 양성자와 합해져 암모니아가 되고 암모니아에서 아미노산이 나온다.

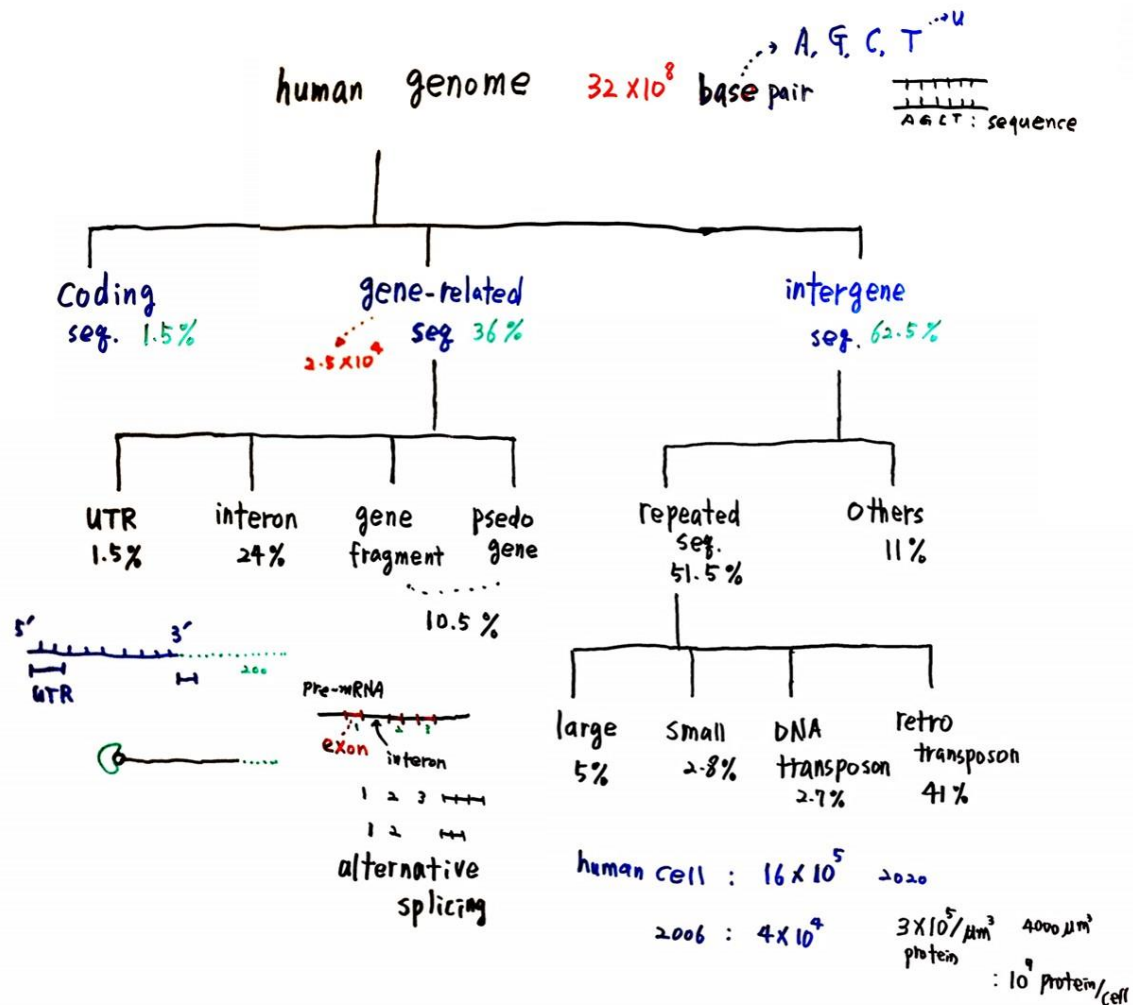
암모니아는 유독 물질이므로 생명 속에서 양성자를 더해 암모늄 이온이 된다. 이 암모늄이 비료와 화약과 아미노산이 되었다. 아미노산이 모여서 단백질이 된다.

단백질을 만드는데 들어가는 아미노산의 종류와 수, 그리고 순서를 정해주는 것이 DNA이다.

단백질과 DNA는 뗄 수가 없다. 면역학도 단백질을 모르고 할 수가 없다. 면역학은 단백질 세계의 파도 같은 것이다.

글루타치온은 Glu, Gly, Cys으로 구성된 작은 tripeptide 단백질이다.

콜라겐은 Ala, Gly, Pro, Hydroxyproline로 구성된 단백질이다.



인간에 대한 모든 생물학적 정보를 human genome이라고 한다. 23개 염기 쌍에 있는 모든 유전정보의 총합이다. 32억개 BP(base pair)이다. A, G C, T로 구성되어 있다. Sequence라고 한다.

염기 서열은 coding sequence, gene related sequence, intergenic sequence의 3가지 속성으로 나눌 수 있다. coding sequence 1.5%, gene related sequence 36%, intergenic sequence 62.5%로 구성되어 있다. coding sequence가 단백질을 직접 만드는 유전자이다.

gene related sequence는 4부분으로 나누어 진다.

UTR(untranslated region) 1.5%, intron 24%, 그리고 gene fragment와 pseudo gene을 합하여 10.5%이다.

어떤 유전자는 돌연변이로 등으로 인해서 유전자에 문제가 생기는데 거의 사용하지 않다가 보니 방치되어 더는 사용할 수 없는 유전자가 된다. 이런 유전자가 pseudo gene이다. 인간의 냄새 맡는 유전자 중 많은 부분이 사용하지 않아 못쓰게 되었다.

Intergenic sequence은 repeated sequence 51.5%와 others 11%로 갈라진다..

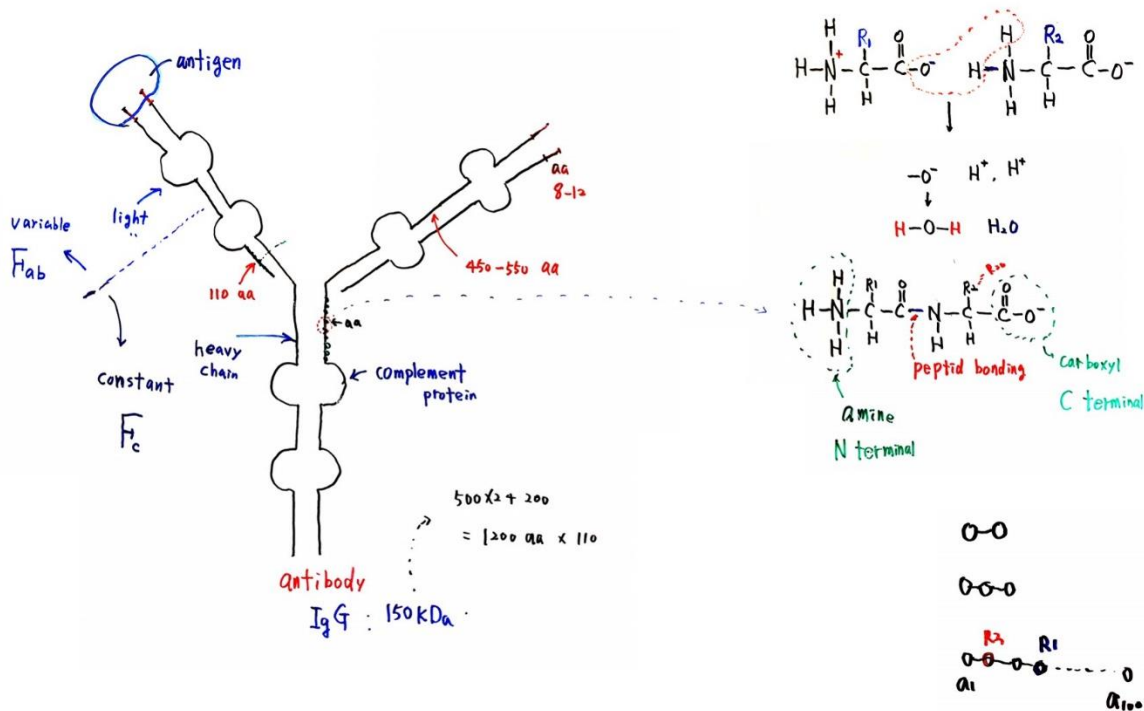
Repeated sequence는 4가지로 나누어 지는데 large 5%, small 2.8%, DNA transposon 2.7%, retro transposon 41% 이다.

메신저 RNA에는 앞에는 cap을 씌우고 뒤에는 poly adenine을 붙인다. 핵막에는 검수하는 곳이 있어, 이렇게 정품이 되어야 핵막을 빠져 나올 수 있다. 메신저 RNA는 수명이 10-30분 정도 밖에 되지 않는다. 그 시간을 놓치면 단백질을 만들지 못한다. 인간 전전두엽의 메신저 RNA와 침팬지 전전두엽의 메신저 RNA의 수명이 다르다. 인간과 침팬지의 차이는 단백질의 종류가 아니라 메신저 RNA의 수명 차이에 따라, 만들어진 단백질 양의 차이이다.

Pre mRNA에는 exon과 intron이 섞여 있다. Alternative splicing 과정을 통해 많은 종류의 단백질이 만들어 진다. 소리를 듣는 유모세포는 유전자는 1개인데 단백질은 300개가 넘게 만들어 진다.

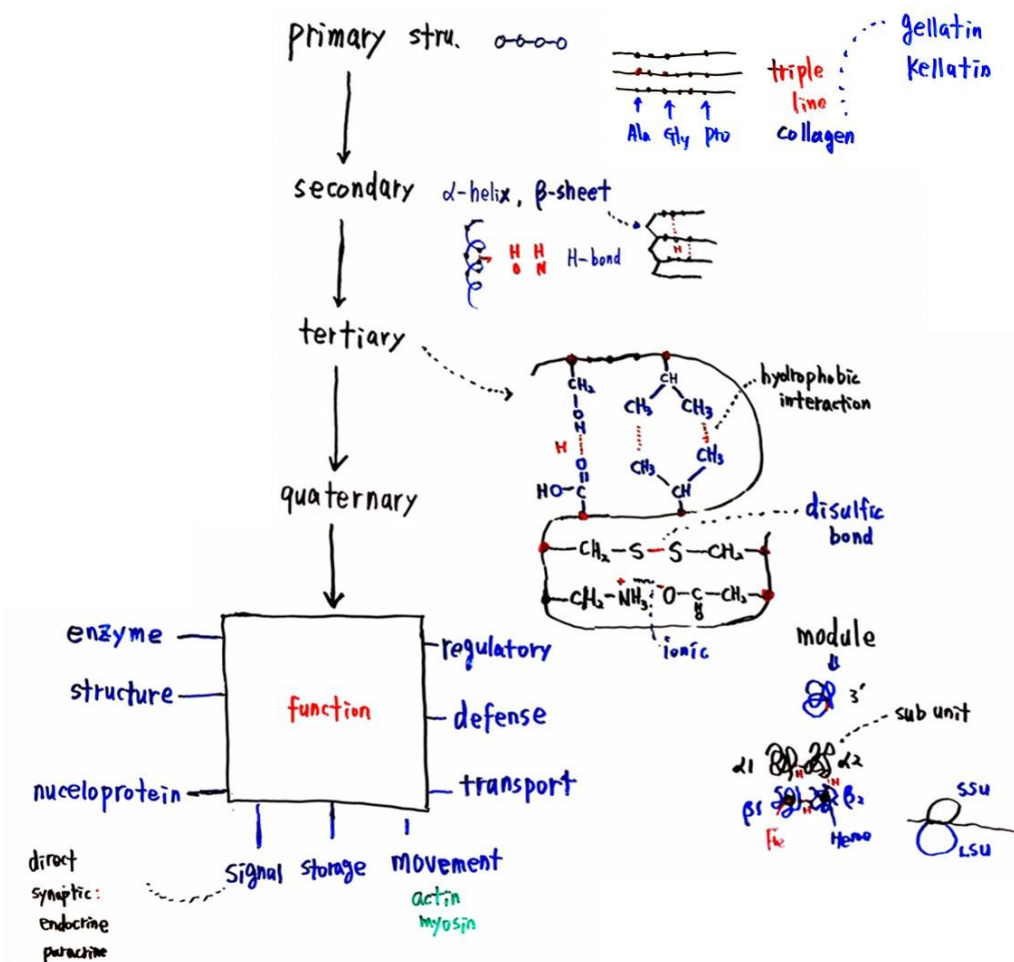
인간 유전자는 25,000개 정도이다.  
 1960년 대에는 인간 genome의 수를 10만개 정도로 추정했으므로, 단백질도 10만개 일 것이라고 생각했었다.  
 2006년에는 인간의 단백질이 4만개로 밝혀 졌었다  
 2020년 현재 밝혀진 인간의 단백질 종류는 16만개이다.

세포 하나당 단백질 개수는 10억개 정도로 추정된다. 세포  $1\mu m^3$  속에 30만개의 protein이 존재한다. 세포 1개의 크기가 약  $4,000 \mu m^3$  이므로 세포 하나 속에 들어 있는 단백질 숫자는 10억개 정도이다.



아미노산은 아민기(NH3)와 카르복실기(COOH) 그리고 곁 사슬(작용기)로 구성되어 있다. 아민기 방향을 N 터미널, 카르복실기 방향을 C 터미널이라고 한다. 아미노산이 모여서 단백질이 된다. 두 아미노산은 탈수중합 과정을 거쳐 결합된다. 물(H2O)이 빠지고 탄소C와 질소(N) 사이에 펩티드 결합(peptide bond)이 일어난다. 단백질은 평균 100개 정도의 아미노산이 결합한 형태이다.

## <단백질의 구조>



## 단백질의 구조

1) 1차 구조(primary structure): polypeptide 사슬에서 아미노산의 서열

1,2차 구조는 입체 구조를 갖지 못하여 기능을 수행하지 못하지만 구조를 만든다. 다발을 만든다. 3가닥으로 된 다발(triple line)을 콜라겐이라고 한다. 콜라겐에서 변형된 것이 gelatin과 keratin이다. 손톱, 머리카락, 피부각질이 keratin이다.

2) 2차 구조(secondary structure):  $\alpha$  helix,  $\beta$  sheet

$\alpha$  helix는 주 사슬 펩타이드 사이에 수소 결합이 있다.

$\beta$  sheet는 병풍 모양이다.  $\beta$  sheet에도 수소 결합이 있다. 비단이 베타 sheet 구조이다.

3) 3차 구조(tertiary structure): 수소결합, 소수성 결합(hydrophobic interaction), 이황화 결합(disulfide bond), 이온 결합(ionic bond)으로 이루어져 있다. 이 결합들이 단백질의 입체 구조를 만들어 준다. 단백질의 입체구조가 생명이다.

이황화 결합(disulfide bond)은 공유 결합이다. 공유결합이 입체 구조를 안정시켜 준다.

입체 구조가 생명의 function이다. 고무에 황을 첨가하면 단단해 진다.

3차구조부터 단백질이라고 부를 수 있다. 3차구조로 된 것을 protein module이라고 한다.

입체 구조를 가졌으므로 기능을 수행한다.

올해 대한 민국 과학 뉴스 중 가장 중요한 것은 오창에 방사광 가속기 설치를 결정한 사실이다.

백신 만드는 데 가장 중요한 장비가 방사광 가속기이다.

방사광 가속기가 있어야 단백질 입체 구조를 촬영할 수 있다.

4) 4차 구조(quaternary structure): 단백질 4차 구조는 단일 기능 단위(다량체)로서 작용하는 둘 이상의 개별 폴리펩타이드 사슬(sub unit)의 결합으로 이루어진 3차원 구조이다. 리보솜은 SSU(small sub unit)와 LSU(large sub unit)의 결합으로 된 4차 구조의 단백질이다.

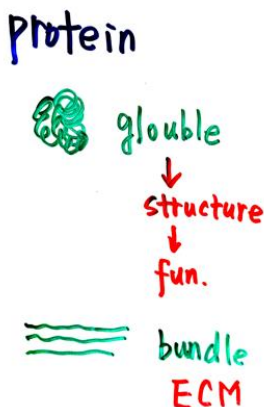
단백질이 만들어 지면 정품 비율은 30% 정도이다. 70%는 바로 폐기장으로 보낸다. 그 폐기장이 proteasome이다. 4차구조에 이르면 단백질의 기능이 생긴다.

#### <단백질의 기능>

1. Enzyme: 효소 작용
2. Structure: (예) 콜라겐
3. Nucleoprotein
4. Regulatory
5. Defense
6. Transport
7. Signal
8. Storage
9. Movement

생명은 이 9가지의 상호작용이다.

movement에서 핵심 단백질이 actin과 myosin이다.



## <단백질의 구조>

1) globular: 구형--→structure--→ function

2) 선형-→bundle-→ECM(extracellular matrix)-→ 세포가 앉을 수 있는 토대를 만든다.

(2교시)

동물은 단백질적인 삶을 산다. 동물은 기능이 핵심이다.

식물의 삶은 저장이다. 저장을 통해서 시간에 대비했다. 생명을 보류할 수 있게 되었다. 생명을 잠시 중지할 수 있게 되었다. 가을에 낙엽이 져서 잎이 떨어 졌다가 다시 봄이 오면 새로운 잎이 핀다. 시간을 포개고 접을 수 있다.

질문이 본질이라는 것을 느낀다. 질문은 스스로에게 하는 것이다.

거대한 정보의 흐름 속에 패턴이 보인다. 그러면 새로운 범주화가 가능해 진다. 새로운 범주화가 새로운 시선을 가능하게 해 준다. 새로운 시선에는 반드시 새로운 개념이 있어야 한다. 새로운 개념은 이전 개념을 알고 있어야 떠오른다. 새로운 시선에서 새로운 질문이 나온다.

식물도 동물도 단백질이 있다. 중요한 것은 주력으로 무엇을 하느냐이다. 단백질 기능 중에 식물은 movement 기능이 없다. 동물에서는 movement 단백질이 상상을 초월할 정도로 다양화 되었다.

식물은 구조와 저장이 발달했다. 식물은 고정되어 있으므로 저장이 핵심이다. 공간 이동을 포기하니까 시간 이동이 가능해 졌다. 그 것이 식물의 본질이다. 동물과 식물은 주로 쓰는 단백질이 다르다.

동물은 운동 쪽으로 투자했다. 5억년 척추동물이 운동에 투자한 마지막 꽃이 가상세계이다.

운동성이 가상세계의 뿌리이다.

thinking이 운동이다. 우리의 사고는 motor 기능이다. 사고는 운동성이 진화한 것이다.

식물은 neural시스템이 없으므로 사고가 없다. Neural 시스템의 본질은 motor neuron들이다.

식물은 고독한 삶이고, 동물은 연합하는 삶이다.

액틴과 미오신 활동 때 많이 나오는 신경조절물질이 아세틸 콜린(Ach)이다.

연상 작용(생각)때 나오는 신경조절물질도 아세틸 콜린이다.

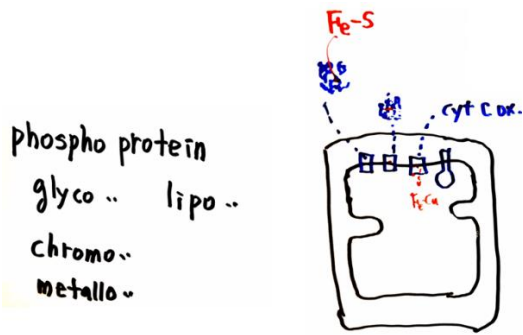
근육운동 때 가장 많이 쓰이는 것이 미오신과 액틴 단백질인데 브레인에 가장 많은 단백질이 액틴 단백질이다.

생각은 운동성 진화의 꽃이다. 식물에게는 없다.

단백질의 기능이 놀라워 진 것은 연합을 하기 때문이다.

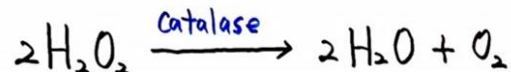
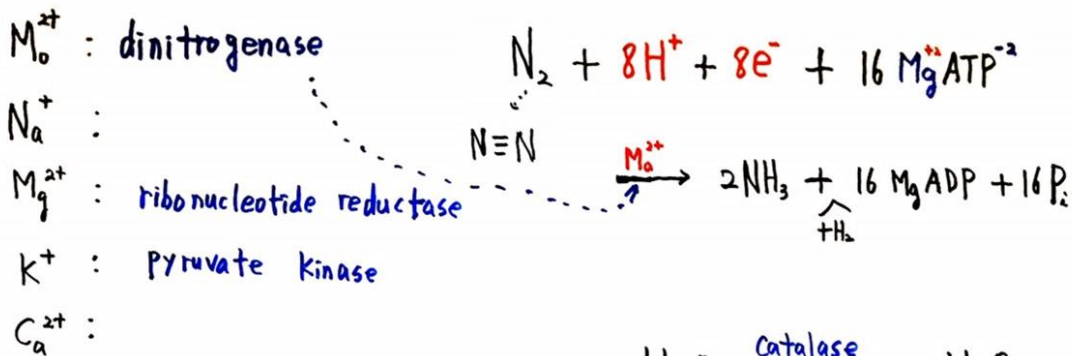
연합하면서 단백질 세계를 5배 정도로 확장했다.





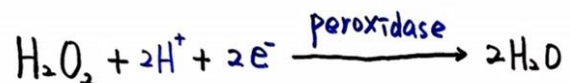
- 1) phosphoprotein: 인산기와 단백질의 결합. 단백질에 인산을 붙이면 kinase가 된다.
- 2) glycoprotein: 당과 단백질의 결합
- 3) lipoprotein: 지질과 단백질의 결합, 주로 transport 기능을 한다.
- 4) chromoprotein: (예)헤모글루빈, 시토크롬
- 5) metal protein: 단백질과 메탈의 결합, 미토콘드리아 내막에 있는 전자전달체인에 있는 철황복합체(Fe-S) 단백질에 메탈이 들어 가게 되면서 단백질에 기능이 출현하게 되었다.

메탈과 단백질의 결합이다. 주기율표를 따르면 된다.



$Fe^{2+}$  : Catalase, peroxidase

$Co^{2+}$  : B<sub>12</sub>, B<sub>9</sub> folic, cobalamine

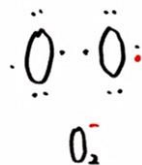


$Ni^{2+}$  : Urease



$Cu^{2+}$  : cytochrome C<sub>1</sub> oxidase

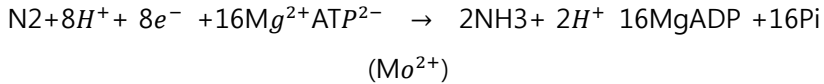
$Zn^{2+}$  : carbonic anhydrase  
 alcohol dehydrogenase  
 carboxypeptidase



금속이 단백질과 만나서 만들어 내는 기능들이다.

$Mo^{2+}$ : denitrogenase,

암모니아를 합성하는데 관여한다. 질소분자는 분해가 어렵다. 1909년 프리츠 하버가 인류 최초로 암모니아 합성법을 개발한 이후, 질소 비료의 개발로 10억 이상의 인구가 증가했다. 그러나 박테리아는 그 이전부터 질소를 분해하여 암모니아를 만들었다.



$Na^+$

$Mg^{2+}$ : ribonucleotide reductase

ATP는 마이너스 전기를 띤다. 전기 중화를 위해 ATP가 가는 데에는 대부분 Mg가 따라간다. 모든 DNA작용을 할 때 Mg가 같이 들어간다.

$K^+$ : pyruvate kinase. 칼륨은 나무 잎의 기공을 여는데 관여한다.

$Ca^{2+}$ : 칼슘은 너무 많으므로 생략한다.

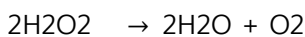
$Fe^{2+}$ : catalase, peroxidase

이 두 효소는 지구 초기 생명의 기원을 추적하는데 중요하다.

철이 들어가는 효소 가운데 가장 중요한 것이 catalase이고, 두 번째가 peroxidase이다.

지구 초기 내리는 비에는 10%의 과산화수소( $H_2O_2$ )가 있었다. 이것을 제거하지 않고는 생명이 살 수 없었다.

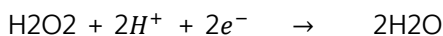
이것을 제거하는 효소가 catalase이다.



(catalase)

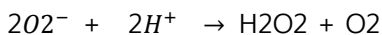
대 규모의 과산화수소를 제거하더라도, 생명이 유지 되는 과정에서 잔여 과산화 수소는 계속 존재한다.

이 과산화수소를 peroxidase가 해결한다.



(peroxidase)

활성 산소종 superoxide( $O_2^-$ )를 처리하는 과정에서 superoxide dismutase가 쓰인다.



(superoxide dismutase)

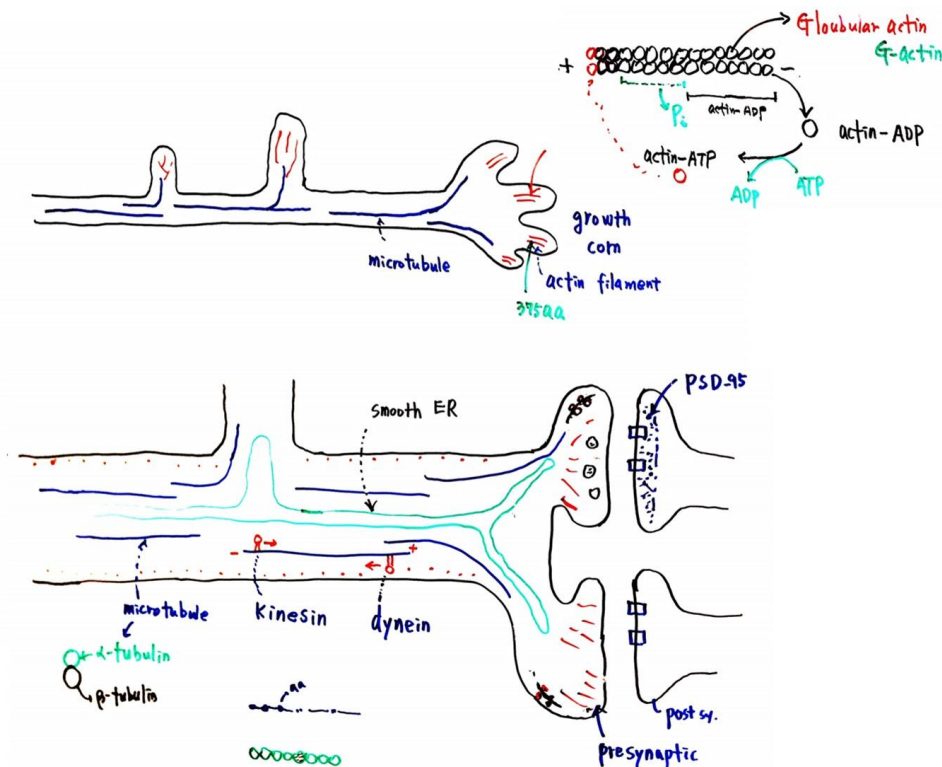
$Co^{2+}$ :  $B_{12}$ ,  $B_9$ , folic acid, cobalamine.  $B_{12}$  (cobalamine)는 Co 없이는 안된다.

$Ni^{2+}$ : urease, 오르니친 회로와 관련이 있다.

$Cu^{2+}$ : Cytochrome C1 oxidase 속에 Cu가 들어 간다.

$Zn^{3+}$ : carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase, carboxypeptidase

단백질 기능 중 movement에 관한 것이다.



시냅스를 보면 우리의 생각이 motor 기능에서 왔다는 것을 느낄 수 있다.

성장 단계 시냅스 세포의 모습이다.

미소세관(microtubule) 끝에 actin filament가 나온다.

다음은 다 자란 모습이다.

presynaptic과 postsynaptic이 보인다.

핵과 연결된 smooth ER이 가운데 있다. 그리고 하이웨이인 microtubule이 있다. Microtubule은 연결되어 있지 않고, 끊어져 있다. microtubule 끝에는 골목길에 해당하는 actin filament가 있다.

Microtubule 마이너스 쪽(Pointed end)에서 플러스 쪽(Barbed end)으로 가는 로봇이 kinesin이고, 반대로 가는 것이 dynein이다. Synaptic 말단 까지 리보솜이 나와 있다.

presynaptic 말단에는 칼슘이 들어 있는 소포체들이 있고, postsynaptic에는 이온 채널들이 박혀 있다.

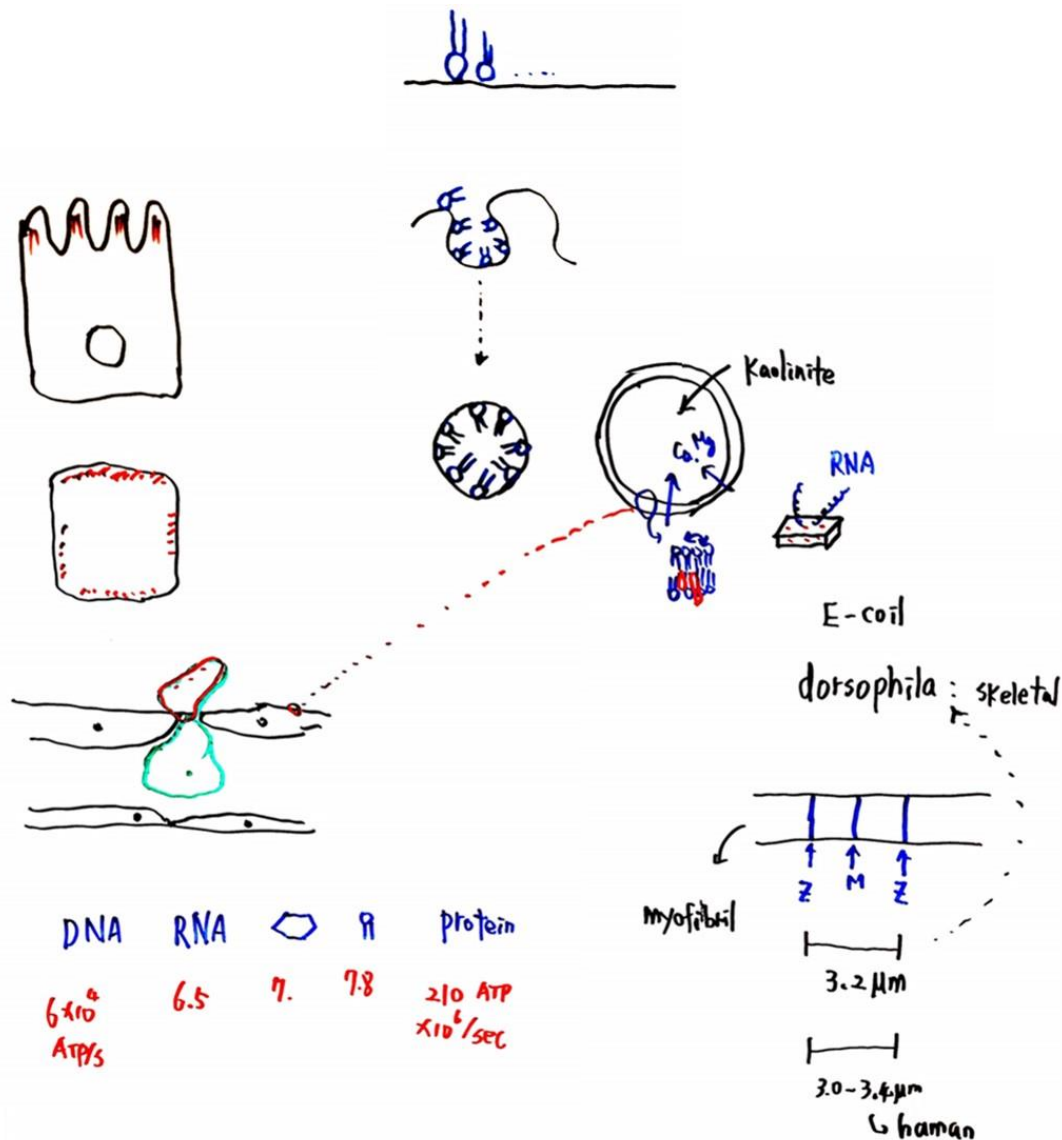
Postsynaptic 말단에는 scaffold protein인 PSD 95가 있다.

미세소관은 기본 구성이  $\alpha$ -tubulin 과  $\beta$ -tubulin 이라는 2개의 단백질로 되어 있다.

actin filament는 G-actin 으로 구성된 사슬(filament actin) 2개로 되어 있다. 하나의 G-actin은 아미노산 375개로 이루어진 구슬 모양이다.

Pointed end(마이너스 부위)에서 빠져 나올 때는 actin과 ADP가 결합된 상태이다.

Actin-ADP가 ATP를 만나 actin-ATP가 되어 barbed end(플러스 부위)로 간다. Actin-ATP에서 Pi가 빠져 나오면 actin-ADP가 된다.



점막세포의 villi 구조를 만들어 주는 것도 actin filament이다. 세포가 형태를 유지하는 것도 세포 경계부위에 actin filament가 있기 때문이다.

대식세포가 모세혈관을 빠져 나가서 변형된 모양을 유지하는 것도 actin filament 때문이다.

축삭이 둥근 관 형태를 유지하는 것도 actin filament가 철망 형태의 ring을 만들고 있기 때문이다.

actin을 정확히 이해하면 동물적 진화가 무엇인지 느낌이 온다.

movement가 동물에 특화되었다. Movement의 꽃이 thinking이다.

제어된 움직임이 thinking이고 제어되지 않은 움직임이 암이다. 종이 한장 차이이다.

암 세포의 핵심은 migration이다. 암의 전이 이유 중 하나가 actin filament를 제어하지 못했기 때문이다.

actin filament 적으로 보면 동물의 움직임은 환상이다.

콜라겐은 3개의 아미노산이 반복되어 연결되어 있다.

그러나 actin filament는 하나의 G-actin이 아미노산 375개로 이루어진 구슬 모양이다. 이런 구슬로 이루어진 2개의 사슬로 이루어진 것이 actin filament이다.

생명은 "단백질에 의한, 단백질을 위한 단백질의 나라"이다 생명 현상의 90%가 단백질이다.

생명체에서 에너지 사용을 분석해 보면 DNA, RNA, 탄수화물, 지질을 합성하는데 사용되는 ATP의 양이 대장균 세포 하나가 초당 각각 6만, 6.5만, 7만, 7.8만 인데 반해 단백질 합성에는 210만 ATP가 사용된다.

생명 에너지의 거의 90%를 단백질 만드는데 사용한다.

축삭에서 막을 제외하면 거의 단백질이다.

막의 생성 과정이다.(동영상 참조)

미셀 구조가 최초의 막이다. 인지질 2중 막도 생긴다. 인지질 2중 막이 마이크로 세컨드 단위로 진동을 한다.

인지질 2중 막 사이에 단백질이 박혀 있다. 막 질량의 40%가 단백질 질량이다.

막을 통해 금속 이온(Ca, Mg)이 들어 가고 점토(kaolinite)가 들어 간다. 점토 결정 표면은 마이너스 전기를 띤다. 그 곳에 전기를 띤 다른 케미칼이 붙을 수 있다. 이것이 RNA world이다.

signal 기능을 보자. signal 방법이 4가지가 있다.

direct signal

synaptic signal

endocrine

paracrine

synaptic에서 thinking이 출현한다.

단백질의 여러 기능 중에서 극단적 부분 집합이 thinking이다. 단백질이라는 집합이 thinking보다 크다.

따라서 지금 인류가 하는 이런 종류의 thinking과 다른 종류의 thinking을 상상해 볼 수 있다.

창의성과 AI다음에 인류가 어디로 갈지는 단백질에게 물어 보아야 한다.

단백질 기능의 10%도 되지 않은 부분이 인류의 thinking이라는 형태로 바뀐 것이다.

남은 90%에서 인간이 하는 이런 thinking외 다른 thinking도 탐색할 수 있다.

비로소 질문이 가능해 진다. 새로운 시선이 가능해 진다.

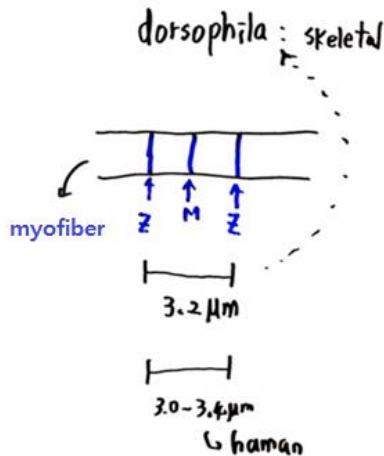
철학도 자연의 부분 집합이다.

하나의 세포 속에 단백질이 10억개가 있다.  $1\mu m^3$  속에 30만개의 단백질이 있다. 무한에 가깝다.

단백질 종류도 16만개이다.

10억개 단백질의 몇가지 선형 조합이 인간의 thinking을 만들어 내었다.

생물학에 기여한 실험생물 중 첫째가 초파리(drosophila)이고 두 번째가 대장균(E-coli)이다.

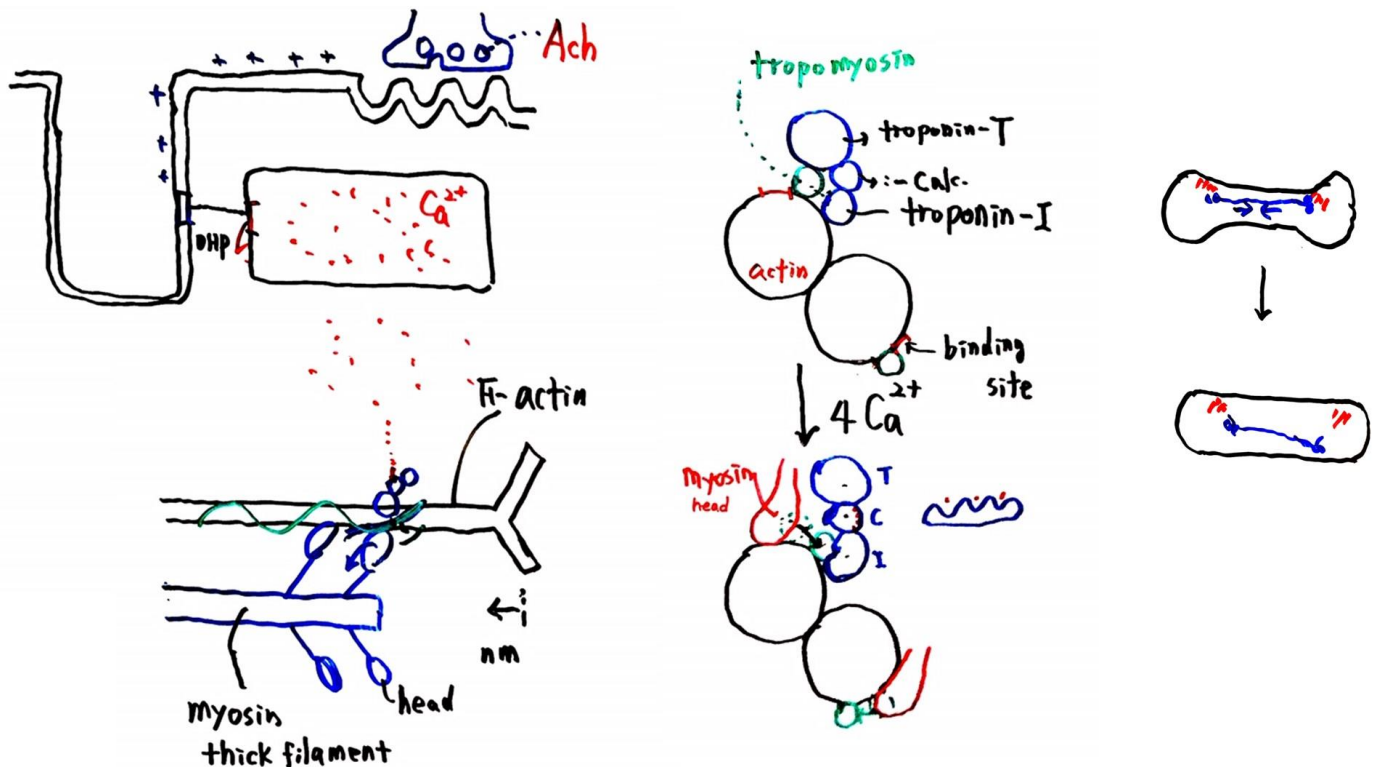


초파리 가슴 날개 움직이는 근육을 전자 현미경으로 촬영했다. 초파리 myofiber에 골격근에 있는 ZMZ(Z disk- M line- Z disk) 구조가 나타났다. 뼈가 없는 절지 동물인 초파리에 포유류의 골격근에 있는 ZMZ 구조가 있다는 것은 경악할 일이다. 초파리의 ZMZ 거리가  $3.2\mu\text{m}$  였다. 사람의 다리 근육에서는  $3.0-3.4\mu\text{m}$  가 나왔다. 초파리와 척추 동물이 갈라진 것은 적어도 6억년 전이다. 초파리는 절지 동물이고 뼈가 없다. 초파리 근육에서 척추 동물 뼈에 붙는 것과 완벽하게 같은 구조가 나왔다. 근육이 뼈보다 먼저 생겼다는 것을 말해 준다.

동물은 mobility가 특화된 삶이다. 움직임의 꽃이 thinking이다. 그 증거가 신경 세포이다.

동물 움직임을 thinking으로 진화했다.

감정이나 사고는 단백질 상호 작용의 극히 일부가 인간에게 나타난 것에 불과하다.



골격근에 neural 신호가 전달되면 신경조절물질인 아세틸콜린이 분비된다.

활동 전위가 생기고 그것에 의해 SR(sarcoplasmic reticulum)에 있던 칼슘이 분비 된다.

F-actin과 myosin의 작용에 의해 근육이 수축되어 움직임이 일어난다.

SR에서 나온 칼슘이 actin filament에 있는 단백질에 붙는다. Actin filament는 tropomyosin이 감고 있다.

이 tropomyosin에 의해 myosin head가 붙게 될 actin의 myosin binding site가 가려져 있다.

Tropomyosin과 actin에 troponin 단백질이 붙어 있다. Troponin 단백질은 I, C, T 3가지 subunit으로 구성되어 있다. 칼슘 4개가 troponin C에 붙어서 tropomyosin의 형태와 위치가 바뀌면 binding site가 나타나게 되고, 이곳에 myosin head가 붙게 된다.

아메바의 mobility는 actin filament에서 왔다.

적혈구도 미오신이 당겨서 허리가 잘록하게 되었다.

모두 단백질의 작용이다. 단백질에 대한 개념을 바꾸어해 한다.

우리의 사고와 감정은 단백질이란 거대한 상호 작용의 극히 일부가 인간이라는 종에 의해서 살짝 출현한 것이다.

AI의 다음 방향은 단백질에게 물어 보아야 한다.

단백질이 세포 레벨에서 어떻게 작용하는지는 계속 밝혀 가고 있다.

단백질의 기능 중 signal에서 synaptic이 나오고 movement에서 thinking으로 연결된다.

수고하셨습니다.