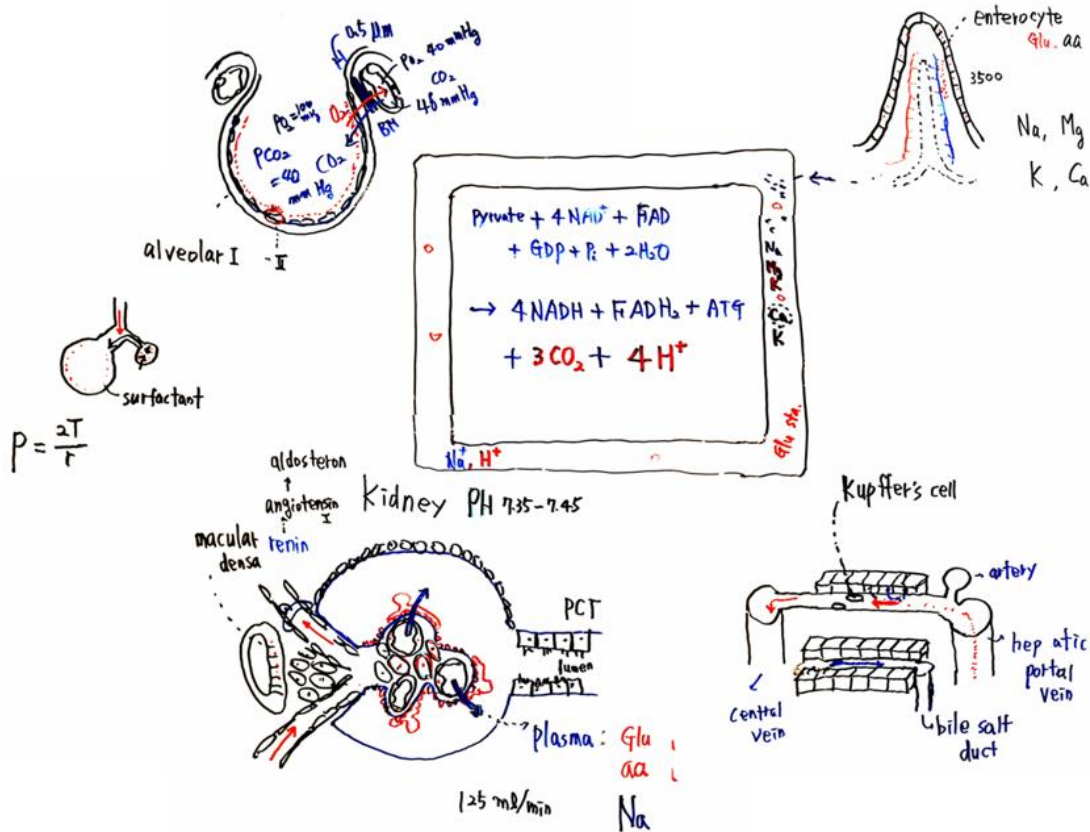


## 제 12 회 137 억년 우주의 진화 3 강 노트

(박문호 박사님 강의를 요약 정리한 내용입니다)

<전 시간 review>

- 공부는 씨를 뿌려 놓으면 언젠가는 찾아 간다.
- neural crest 를 제 4 배엽이라고도 한다.
- notochord 가 shh(sonic hedge hormone)를 분비하여 neural plate 를 유도하여 neural groove 가 되고 neural groove 가 neural tube 가 된다. neural tube 가 brain 과 spinal cord 가 된다.
- 사람 몸의 마디는 24-44 개이다. 발생 때 하루에 3 마디 씩 생긴다
- 콩팥과 생식기관은 intermediate mesoderm 에서 나온다.
- 난황 공간에서 germ-line 과 혈관 및 적혈구가 시작된다. 발생 초기(3 주차)부터 생긴다.
- 살아서 내 몸을 벗어나는 유일한 세포가 생식세포(정자)이다.
- 생식 기관의 발생 과정을 보면 정소와 난소는 처음에는 콩팥과 가까이 가슴 부근에 있었다.  
생식 세포가 가는 길은 오줌이 나가는 관을 중간에 가로챘다.  
살아 있는 세포가 자유를 획득하는 과정 이다.
- 생명은 폐 곡선이다. 폐 곡선은 안이냐, 밖이냐가 핵심이다. 끊어 지면 죽는다.



하비의 혈액 순환설이 증명되고 난 후 전통 의학이 한 단계 업그레이드 되었다.

혈액이 폐 회로를 순환한다.

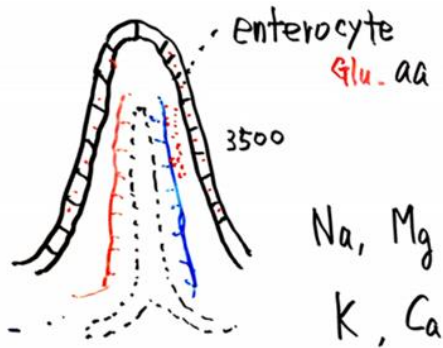
일부 동물은 폐 루프가 아니고 뿌려버린다.

곤충의 혈액 순환을 보면 포유류의 혈액 순환이 얼마나 유니크한지 알 수 있다

순환 과정에는 4 개의 통로가 있다.

혈액은 영양 물질을 실어 나른다. 그리고 산소를 공급하고 이산화탄소를 배출한다. 이것이 기본 미션이다.

먼저 소장에서 영양물질을 싣는다. 글루코스와 아미노산 그리고 모노글리세라이드를 모세 혈관의 플라즈마에 싣는다. 그리고 무기 영양소인  $Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}$  를 흡수한다.



소장 융모의 구조를 알아야 한다.

바깥에 enterocyte 세포가 있고, 모세혈관이 있다. 그 속에 킬로미크론 같이 입자가 큰 지질을 운반하는 림프 시스템인 lacteal(암죽관)이 있다. 하나의 villus 에 3500 개의 세포가 있다.

식물은 무기 영양만 흡수 한다.

無機와 有機에서 機는 탄소를 뜻한다. 식물은 어떤 탄소 화합물(유기 영양소)도 흡수하지 않는다.

탄소는 생명의 몸체를 만드는 back bone 구조이다. 탄소의 팔(최 외각전자)이 4 개이기 때문이다.

실리콘(Si)이 팔이 4 개라서 가장 표면적을 적게 할 수 있는 정사면체를 형성할 수 있다.

그래서  $SiO_2$  가 지구의 60%를 차지하는 맨틀의 주 성분이다. 마찬가지로 탄소도 팔이 4 개라서 몸체를 만들기 쉽다.

$C_6H_{12}O_6$ (글루코스)는 탄소가 태초의 바다를 양쪽 팔로 잡고 있는 형태이다.

포도당이 근본적인 이유는  $CO_2$  와  $H_2O$  로만 구성되어 있으며 질소가 없다는 것이다.

생물은  $CO_2$  와  $H_2O$  만 있으면 된다.  $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow 6(CH_2O) + 6O_2$  산소는 부산물로 얻은 것이다.

20 억년전 까지는 지구에 산소가 없었다. 질소도 나중에 생명체에 들어왔다.

암석이 토양이 되고 생물도 토양에서 나왔으므로 토양의 물질을 따를 수 밖에 없다.

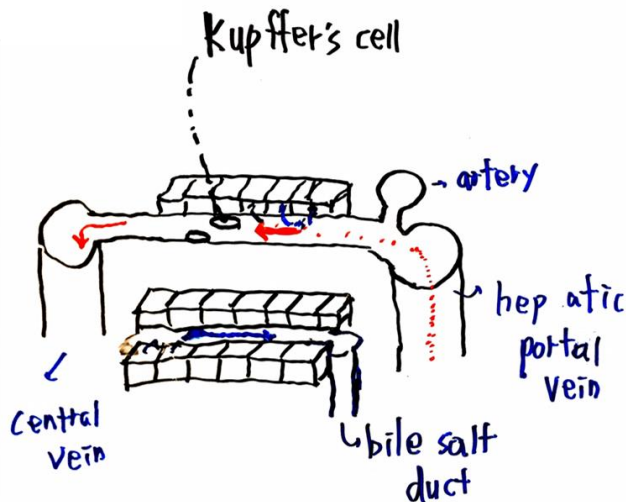
질소는 공기 중에는 많으나, 바위와 물 속에는 없다.

지구는  $CO_2$  행성이다.  $O_2$  가 아니다. 최초의 생명체인 박테리아는  $O_2$  없는 환경에서 살았다.

지금도 지구의 주인은 박테리아이다. 다세포 동물은 겉보기 현상에 불과하다.

순환 과정의 2 번 째는 간이다. 인체 기관 중 혈액을 가장 많이 보유하는 곳이 간이다.

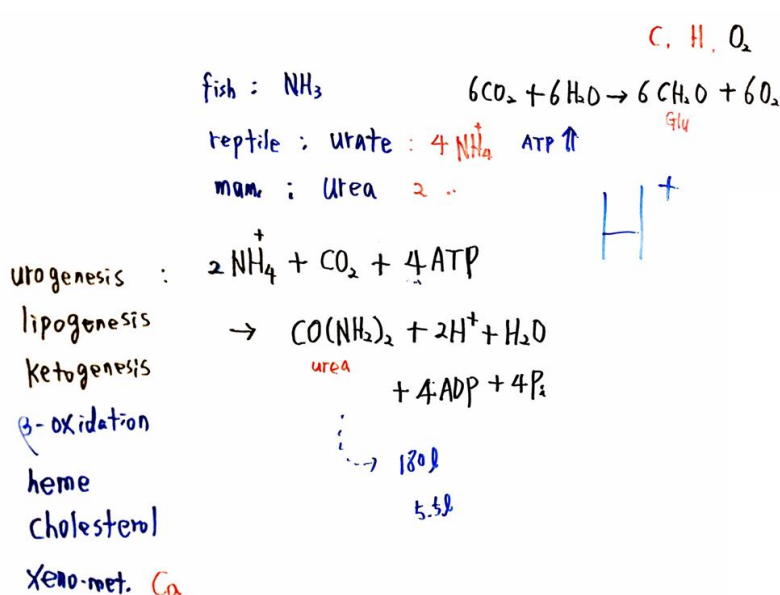
영양 물질의 저장 창고 역할을 한다.



소장에서 hepatic portal vein 을 통해서 영양물질이 들어 온다. 간 세포(hepatocyte)는 벽돌 구조체 모양이다. 이런 set 가 10 만개 있다.

간의 첫 번째 미션은 글루코겐의 농도를 관리하는 것이다. Hepatic portal vein 을 통해 들어온 영양물질이 sinusoid(간 동굴모세혈관)를 따라 가며 간 세포에 저장된다. 글루코스는 글리코겐 형태로 저장된다. 식물은 녹말 형태로 저장한다. 동물은 급 발진이 필요하므로 쉽게 분해할 수 있는 글리코겐 형태로 저장한다.

간의 두 번째 역할은 쓸개즙을 만드는 것이다. 쓸개즙은 반대 방향으로 bile salt duct 를 타고 가서 쓸개(gall bladder)에 보관된다. Sinusoid 와 내피세포 사이에 쿠퍼세포(Kupffer cell)가 있어 혈액 속 박테리아 등 이 물질을 제거 한다.



간의 주요한 기능은 다음과 같다. 그 중 genesis 기능이 크게 3 가지 이다.

1)ureagenesis

오르니틴 회로를 통해서 암모늄을 요소로 만들어 배출한다.



Fish 는 암모니아( $\text{NH}_3$ )를, reptile 은 요산(uric acid: urate)을, 포유동물은 요소(urea)를 배출한다.

요산은 요로 결석과 통풍과 관련이 있다.

물고기는 아가미를 통해서 암모니아를 바닷물 속으로 배출하고, 양서류는 일부를 피부를 통해서 배출한다.

요산으로 배출하는 것이 요소를 배출하는 것보다 물은 줄일 수 있으나 에너지가 많이 든다.

생명은 2 분자만 있으면 된다.  $\text{CO}_2$  와  $\text{H}_2\text{O}$  이다.

$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CH}_2\text{O} + 6\text{O}_2$ , 산소가 생기는 과정이다.

24 억년 전에 지구 대기에 오존층이 있었다는 것을 암석학자들이 확인했다. 24 억년 전부터 시아노박테리아들이 산소를 만들기 시작했던 것이다. 여기 까지는 질소가 없다.

질소는 생명체가 이용할 수 없었다. 암석이나 물 속에는 없고 공기 중에만 있었다.

공기 중에서 질소는  $\text{N} \equiv \text{N}$  3 중 결합으로 되어있어 자연 상태에서는 오로지 번개에 의해서만 분리된다.

지금도 질소의 25%는 번개가 만들어 준다. 여름에 번개와 폭우가 쏟아지면 가을에 풍년이 든다는 농부의 말이 맞는다. 질소 원자가 나오면 식물이 양성자 2 개를 붙이면  $\text{NH}_2$ (아민기)가 되고 3 개를 붙이면  $\text{NH}_3$  (암모니아)가 된다.

암모니아를 이공적으로 합성하면서부터 인구가 10 억명이 늘어났다.

앙케이트 조사에서 과학이 인류에 기여한 것 중 No.1 이 하비 공법에 의한 질소비료의 개발이다.

멜더스의 인구론을 허구로 만들고 지구상에 최소 10 억명이 더 살 수 있게 식량 증산에 기여 했다. 질소 비료가 나오기 전에는 유럽에서 칠레 초석을 수입하여 비료로 사용했다. 화약과 비료는 분자식이 같다. 비료공장이 1 차 세계대전 때 폭탄 원료 제조 공장으로 사용되기도 했다.

$\text{NH}_3$  는 유독하다. 동물은 암모니아에 양성자 하나를 추가하여 암모늄 이온( $\text{NH}_4^+$ )을 만든다.

물고기는 아가미를 통해서 암모니아를 바닷물 속으로 배출한다. 양서류는 암모니아 일부를 피부를 통해서 배출한다.

조류와 파충류는 4 분자의 암모니아를 배출한다. 요산으로 배출하는 것이 요소를 배출하는 것보다 물은 줄일 수 있으나 에너지가 많이 든다. 포유류는 물은 많이 소요되지만 에너지가 적게 드는 요소배출을 택했다.

콩팥에서는 하루에 혈액 180 리터를 filtering 한다.

동물들은 자신이 사는 환경에 따라 노폐물 배출 방식을 변화시켰다.

콩팥을 통해 배출하는 본질적 존재는 양성자( $\text{H}^+$ )이다.

2)lipogenesis

3)ketogenesis

4)  $\beta$  oxidation 지질을 산화하는 과정이다.

5)Heme synthesis

6)cholesterol synthesis

콜레스테롤에서 쓸개즙이 만들어 진다. 그리고 스테로이드 호르몬과 성 호르몬이 만들어 진다.

식물은 콜레스테롤을 만들지 못한다. 동물 세포의 위대한 점은 콜레스테롤을 합성할 수 있다는 것이다.

콜레스테롤 속의 벤젠고리는 분해되지 않는다. 변으로 나온다.

## 7) xenobiotic metabolism

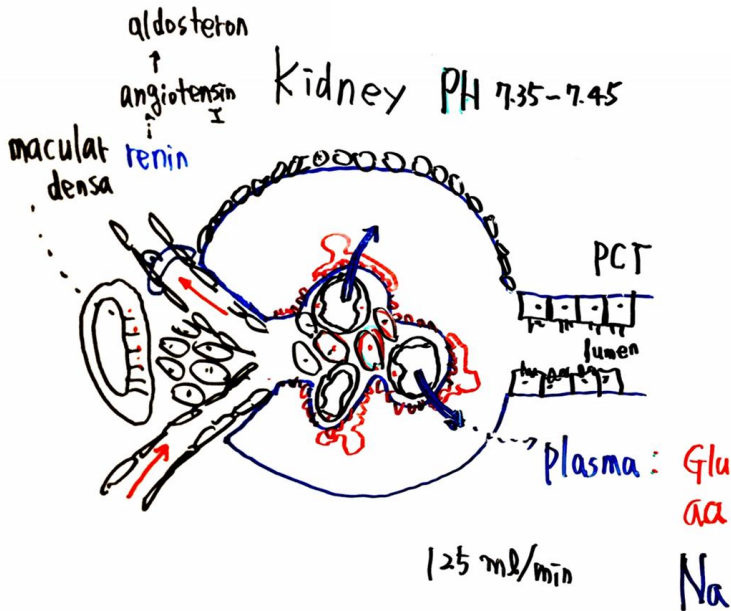
처음 들어온 단백질은 모두 분해해 버린다.

## 8) 혈액 응고

혈액응고에 반드시 필요한 케미칼이 칼슘이다.

세 번째 과정은 콩팥이다.

콩팥의 주요 미션은 PH 조절과  $Na^+$  이온 농도의 조절이다. PH 는 7.35-7.45 사이를 유지해야 한다.



콩팥은 PH 를 시간단위로 조절한다. 분단위로 PH 를 조절하는 기관이 허파이다. 콩팥이 시간단위로 조절한다고 하더라도 1 시간을 넘기면 안된다. 그래서 40 분마다 한번씩 전체 혈액을 filtering 한다.

생명은 시간단위로 다시 태어 난다.

세포가 죽으면 분해된다. 심장은 1 시간, 간은 2 시간이 지나면 분해되기 시작한다.

생체이식 때 시간을 맞추기 위해 헬기로 실어 나른다.

매 시간 전체 혈액을 filtering 하는 이유는 양성자( $H^+$ )때문이다.

모든 세포는 24 시간 계속하여  $CO_2$  와  $H^+$ 를 만들어 낸다. 1 시간 이상 방치해 두면 세포가 식초가 된다.

우리는 매 시간 새롭게 탄생한다.

조지 플로이드가 백인 경찰의 무릎에 목이 눌려서 "I can't breathe"라고 했을 때 산소 부족이 문제였을까 아니면 이산화탄소를 배출하지 못한 것이 문제였을까? 이산화 탄소가 더 문제였다고 생각된다.

"I can't breathe"는 인간뿐만 아니라 지구 상 모든 생명체가 내는 소리라는 생각이 든다.

무기 영양소 중에서 압도적으로 중요한 것은  $Na^+$  이온이다. 나트륨은 99% 회수해야 한다. 동물에게는 나트륨이 확실히 중요하다. 오줌의 핵심은 나트륨이다.

사구체(glomerulus)에는 동맥만 있다. 사구체 안에는 모세 혈관이 있다. 하루에 180 리터의 혈액이 통과한다.

40 분마다 한번씩 하루 60 회 통과 시킨다.

콩팥 모세 혈관의 총 길이는 150km 에 이른다.

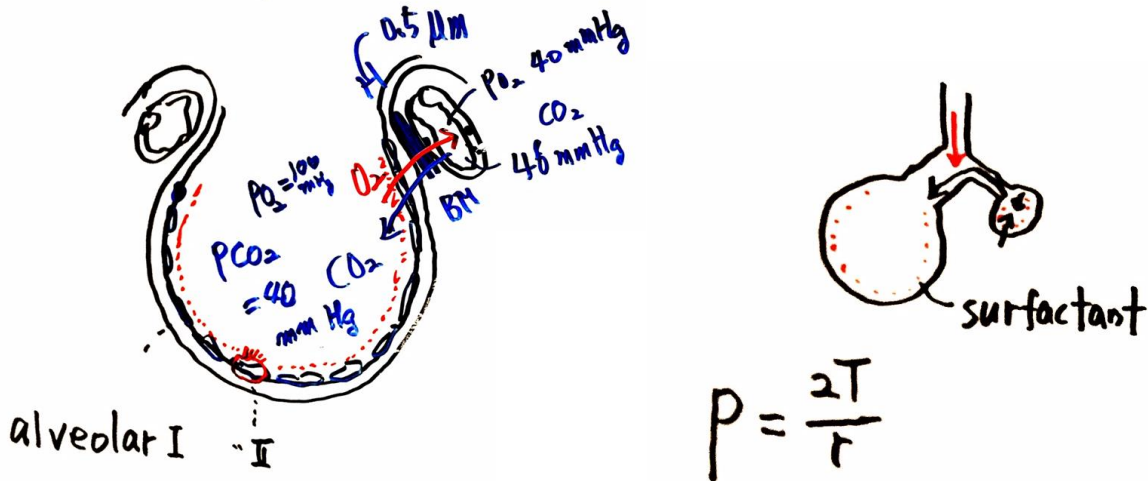
사구체 모세혈관 사이에 mesangial cell 이 있다. 분당 125ml 의 혈액이 통과한다. mesangial cell 의 작용에 의해 모세혈관의 압력이 조절되어 여과하는 혈액의 양이 조절된다.

macula densa 에서 renin 이 나오고 renin 이 angiotensin 1 이되고 angiotensin1 이 허파에서 angiotensin2 가 되고 angiotensin2 가 aldosterone 과 협동작업을 하여 집합관에서 H2O 재 흡수 rate 를 조절한다.

사구체 모세혈관에 podocyte(죽 세포)가 붙어 있다. Podocyte 의 발 돌기(process)가 모세혈관 base membrane 을 따라 빈틈 없이 붙어 있다. 생명은 세포의 배열이다. 물리와 만난다. 위상 수학과 관련이 있다. 배열의 놀라운 정도에 따라 놀라운 function 이 나온다.

콩팥은 중기적으로 PH 를 조정한다. 매 40 분마다 한번씩 전체 혈액을 점검한다.

콩팥은 99%의 나트륨을 회수한다. 확실히 나트륨은 몸에 중요한 물질이다.



마지막 과정은 허파에서 이산화탄소를 배출하고 산소를 공급받는다.

허파파리 구조를 이해해야 한다.

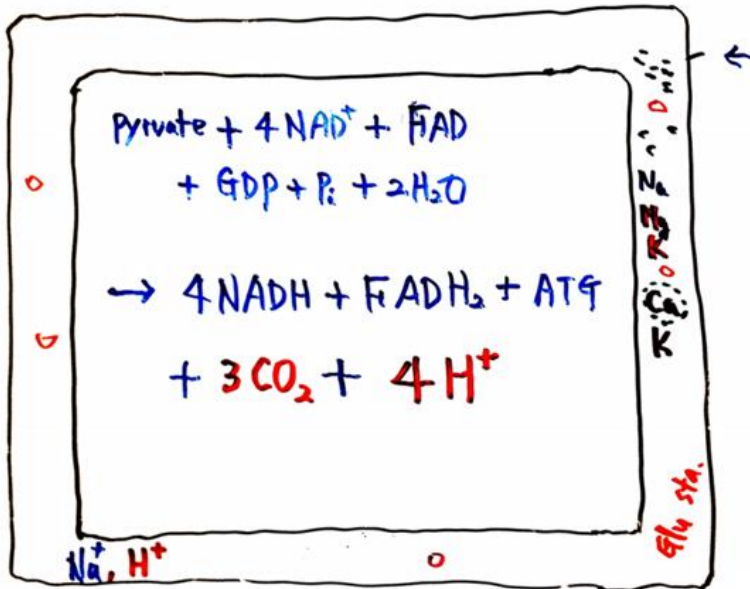
Alveolar type 1 과 type2 세포가 있다. Type 2 세포에서 표면활성제(surfactant)를 분비한다. 표면활성제에 의해 수막이 형성되어 허파파리가 쭉그려 드는 것을 방지해준다. 허파파리를 펼치면 우리 몸 표면적의 60 배에 달한다.

테니스코트만한 면적이다. Surfactant 가 없으면 라플라스 공식  $P = \frac{2T}{r}$ 에 의해 작은 허파파리가 collapsing 될 수 있다.

허파 속에서 모세혈관과 허파파리는 membrane 이 서로 붙어 있다. 간격이  $0.5\mu m$  밖에 되지 않아 이산화탄소와 산소가 바로 membrane 을 통과한다. 허파파리 속 이산화탄소 분압  $P_{CO_2}$  는 40 mm Hg 이고 모세혈관 속  $P_{CO_2}$  는 46mmHg 이다. 압력에 의해서 모세혈관에서 허파파리로  $CO_2$  가 확산되어 들어 간다. 반대로 산소 분압인  $P_{O_2}$  는 모세혈관이 40mmHg 이고 허파파리는 100mmHg 라서 허파파리에서 모세혈관으로  $O_2$  가 확산된다.

사구체를 통해 filtering 되는 것은 plasma 이다. 적혈구와 크기가 큰 단백질은 빠져 나가지 못한다.

글루코스와 아미노산 그리고 무기 영양소들이 빠져 나간다.



4 개의 과정을 모두 관통하는 것이 TCA 회로이다.

CO<sub>2</sub> 와 H<sup>+</sup>가 항상 만들어 진다. 이것을 처리해야 한다.

조지 플로이드가 백인 경찰의 무릎에 목이 눌러서 "I can't breathe"라고 했을 때 산소가 부족해서 문제였을까 아니면 이산화탄소를 배출하지 못해서 문제였을까? "I can't breathe"는 인간뿐만 아니라 지구 상 모든 생명체가 내는 비명소리라는 생각이 든다. 빅뱅의 메아리까지 연결될 수 있다.

CO<sub>2</sub> 는 배출하지 못하면 죽고, O<sub>2</sub> 받아들이지 못하면 죽는다. CO<sub>2</sub> 와 O<sub>2</sub> 중 무엇이 더 근본적일까?

우리는 산소가 더 중요하다고 생각했기 때문에 지구 역사의 반이 날아갔다. 생명을 거꾸로 보고 있는 것이다..

지구 탄생 후 20 억년까지는 산소가 없었다. 산소 없이도 생명은 가능했다. 이산화탄소 없이는 생명은 불가능하다.

"I can't breathe"의 의미는 "CO<sub>2</sub> 를 배출할 수 없어 힘들어요"에 더 가깝다는 생각이다.

CO<sub>2</sub> 배출은 5 분간만 못해도 죽는다. H<sup>+</sup>는 시간 단위로 맞추어야 한다.

산소를 흡입한 것은 20 억년 되었고, 이산화탄소 배출은 40 억년 된 사건이다.

혈액 1 리터 속에 산소가 197ml 가 있다. 혈장 속에 3ml 가 있다. 분당 5l 가 흐르면 2000ml 의 산소가 있다. 사람이 편하 쉬고 있을 때 산소 필요량은 259ml/min 이다. 필요량보다 4 배의 산소를 공급하고 있다.

산소는 과잉공급되고 있다. 처음 산소를 필요로 했던 최초의 다세포에 비한다면 100 배나 많은 소를 소모하는 것이다.

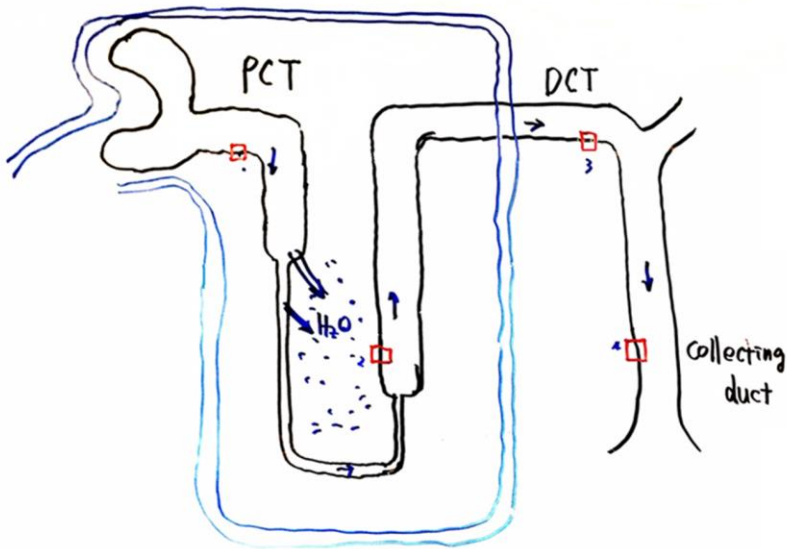
시상하부에는 BBB(brain blood barrier)가 없다. 초 단위로 혈액 속 이산화탄소 농도를 체크하여 호흡의 속도를 조절한다.

표면활성제 surfactant

alveolar type I, alveolar type II

콩팥의 네프론(nephron)의 구조이다





근위세관 PCT(proximal convoluted tubule)

원위세관 DCT(distal convoluted tubule)

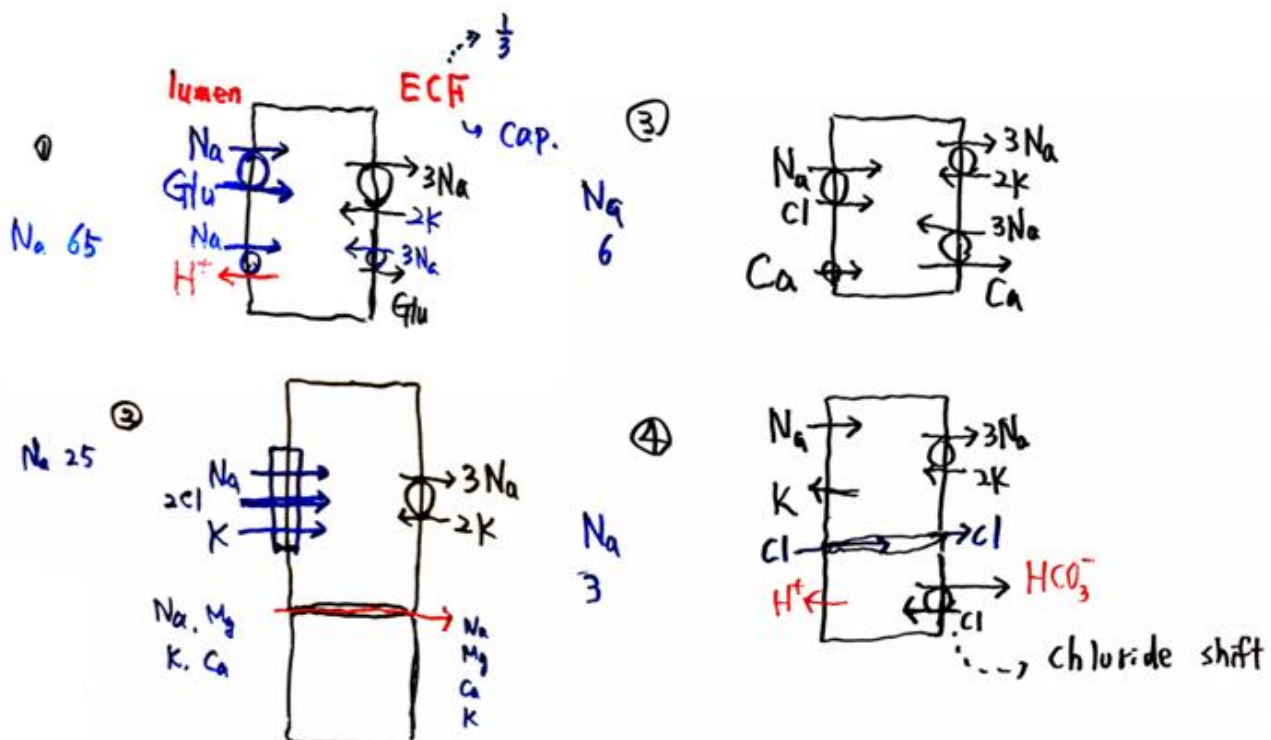
집합관 collecting duct

내림다리(descending limb)

오름다리(ascending limb)

콩팥의 핵심은 이온채널이다.

이온채널은 많지만 그 중에서도 근위세관(1), 오름다리(2), 원위세관(3) 그리고 집합관(4)에 있는 이온 채널이 중요하다.



PCT 에 있는 세포는 이빨처럼 생겼고 소장처럼 끝에 융모가 있다. 글루코스와 아미노산을 회수하는 역할을 한다.

(1)번 채널은 PCT cell 에 있으며 lumen 과 interstitial fluid 사이에 있다. Interstitial fluid 가 ECF(extra cell fluid)이다.

ECF 에는 우리 몸에 있는 액체의 1/3 을 차지한다. ECF 의 PH 를 7.35-7.45 사이에서 맞추어야 한다.

모세혈관 속의 혈장은 ECF 와 단백질을 제외한 전해질은 거의 같다. 액체는 쌍 방향으로 소통한다. 그래서 ECF 를



통해 곧장 모세혈관으로 이동이 가능하다

(1)번 위치에서는 우선적으로 글루코스를 회수해야 한다. Glucose 의 cotransporter 의 동반자가 Na 이다.

서로 symporter 관계가 된다. 즉 글루코스와 Na 가 같이 lumen 에서 PCT cell 로 들어온다.

또한 양성자를 lumen 으로 내보내야 한다. 이때에는 Na 가  $H^+$ 의 antiporter 가 된다. 즉  $H^+$  를 내 보내고 대신 Na 가 들어온다. ECF 방향 PCT cell 에는 3 개의 Na 와 2 개의 K 가 교환되는 antiporter 채널이 있다. 결국 Na 는 끝까지 회수한다.

그러면 Na 가 왜 그렇게 중요한 것일까?

Na 는 평소에는  $HCO_3^-$ 와 결합하여  $NaHCO_3$  형태로 존재한다.  $NaHCO_3$  는 중 탄산 나트륨으로 베이킹파우더이다.

$NaHCO_3$  가  $HCO_3^-$ 보다 20 배 많다고 한다. Na 가 필요한 이유이다. Na 는 확실히 중요하다.

결국 PCT 에 있는 채널에서는 glucose 를 회수하고 양성자는 배출하며, Na 를 회수한다.

(2)번 위치에는 Na, K, 그리고 2 개의 Cl 이 같이 ascending limb cell 로 들어오는 cotransporter 채널이 있다. 그리고 ascending limb cell 사이 공간으로  $Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}$ 이 모두 통과한다. 이온들이 들어 오면 ECT 의 삼투압이 높아지므로 내림다리 속 lumen 에 있던  $H_2O$  가 ECT 로 들어간다. 2 번 위치에도 Na/K 채널이 있다.

(3)번 위치에는 Na 와 Cl 이 동시에 들어가는 cotransporter 채널이 있고, Ca 가 들어가는 채널이 있다. DCT cell 로 들어간 Ca 는 ECT 로 빠져 나가는데 이때 3 개의 Na 가 ECT 에서 DCT cell 안으로 들어가는 antiporter 채널이 있다. 그리고  $3Na/2K$  채널이 있다.

(4)번 위치에서는 Na 이 회수되고,  $K^+$ 이 배출되는 antiporter 채널이 있고, DCT cell 사이로 Cl 이 lumen 에서 ECT 로 회수 된다. 그리고  $H^+$ 가 lumen 으로 배출된다. 또한  $HCO_3^-$ 가 회수 되고 Cl 이 나가는 chloride sift 채널이 있다.

이 4 가지 채널을 완전히 익혀야 한다.

1 번에서 나트륨의 65%를 회수하고, 2 번에서 25%, 3 번에서 6%, 4 번에서 3%를 회수 한다.

즉 콩팥에서는 99%의 나트륨을 회수하고 있다. 반면 양성자는 상황에 따라 조절한다.

고혈압 환자는 소금을 줄여야 한다. 2:31

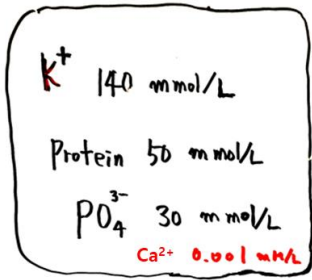
소금 섭취가 많아도 문제이지만 적어도 문제가 된다.

초식동물은 소금이 반드시 필요하다. 식물 잎에는 칼륨(K)이 많다. 나무 잎을 태우면 재 속에 칼륨이 많이 나온다.

알칼리라는 용어는 칼륨에서 유래했다. 몸 속에는 칼륨과 나트륨이 균형을 맞추어야 하는데 나트륨보다 칼륨이 너무 많으면 hyperkalemia 증상이 나타나 심장이 정지하여 죽을 수도 있다.

$Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, H^+, HCO_3^-, PO_4^{3-}, Cl^-$

2 교시(02:31)



$Na^+$  150 mmol/L

$Cl^-$  120 mmol/L

$Ca^{2+}$  : 2.1 - 2.6 mmol/L

hypocalcemia 2.1↓

hyper .. 2.6↑

$K^+$  : 3.5 - 5 mmol/L

세포 안에 가장 많은 이온은  $K^+$ 으로 140 mmol/L, 다음은 protein 으로 50 mmol/L, 그리고  $PO_4^{3-}$  이온이 30 mmol/L 가 있다. 그러나  $Ca^{2+}$ 은 세포 안에는 0.001 mmol/L 이하이다.

모세혈관 혈장과 간질액(interstitial fluid)는 서로 교환된다.

혈장과 간질액 속에는  $Na^+$ 이 150mmol/L,  $Cl^-$ 가 120mmol/L 가 있다.

혈장과 간질액 속에서는  $Ca^{2+}$  이온 농도를 2.1-2.6 mmol/L 로 조절해야 한다.

2.1 이하면 hypocalcemia, 2.6 이상이면 hypercalcemia 증상이 나타난다.

$K^+$  이온 농도는 3.5-5 mmol/L 사이로 조절 되어야 한다. 5 이상이면 hyperkalemia, 3.5 이하면 hypokalemia 증상이 나타난다.

세포 밖이 세포 안보다  $Ca^{2+}$  이온 농도가 10,000 배 이상 높다. 중추 신경계가 칼슘을 신경 전달 물질로 사용하게 된 이유가 이해가 된다. 칼슘은 방아쇠를 당기는 trigger 역할을 한다. Contrast 가 명확하기 때문이다. 조금 만 써도 금방 명확해 지기 때문이다. 세포 질 속에는 칼슘 이온을 회수하기 위해 소포체에 IP3 채널이 있다. 칼슘 회수를 위해 칼모둘린이라는 단백질이 별도로 있다. 칼슘 회수에 상당한 에너지를 쓰고 있다.

세포 내 Action potential 은  $Na^+, K^+$ 가 만들어 준다. 두 이온의 세포 안과 세포 밖의 농도 차이가 매우 크기 때문이다.

허파꽂리와 모세 혈관은 가깝게 있기 때문에 산소와 이산화탄소가 확산되어 들어간다.

발생 때 태아도 4 주 이전에는 혈관이 없으나 엄마의 동맥에서 나온 영양 물질과 산소를 확산에 의해서 태아가 흡수한다. 이 때 태아의 크기는 1-2mm 에 불과하기 때문에 가능하다, 지렁이나 곤충도 크기가 작기 때문에 기문을 통해서 산소가 직접 확산되어 들어 간다.

호흡을 공부할 때는 산소와 이산화탄소를 분리해서 생각해야 한다.

다세포 동물에서는 산소와 이산화탄소가 모두 중요하다. 박테리아에게는 산소는 위험하다. 식물에게는 이산화탄소가 절대적으로 중요하다. 산소는 광합성의 부산물이다. 이후에 다세포 동물이 호흡하는 과정에서 산소의 중요성이 커졌다.

지구에 20 억년전까지는 산소가 없었다. 산소 없이도 생명은 가능했다. 그러나 이산화탄소 없이는 생명은 불가능하다.

"I can't breathe"의 의미는 "CO2를 배출할 수 없어 힘들어요"에 더 가깝다는 생각이다.

CO2 배출은 5 분간만 못해도 죽는다.  $H^+$ 는 시간 단위로 맞추어야 한다.

산소를 흡입한 것은 20 억년 되었고, 이산화탄소 배출은 40 억년 된 사건이다.

혈액 1 리터 속에 산소가 197ml 가 있다. 혈장 속에 3ml 가 있다. 혈액 1 리터 당 200ml 의 산소가 녹아 있다.

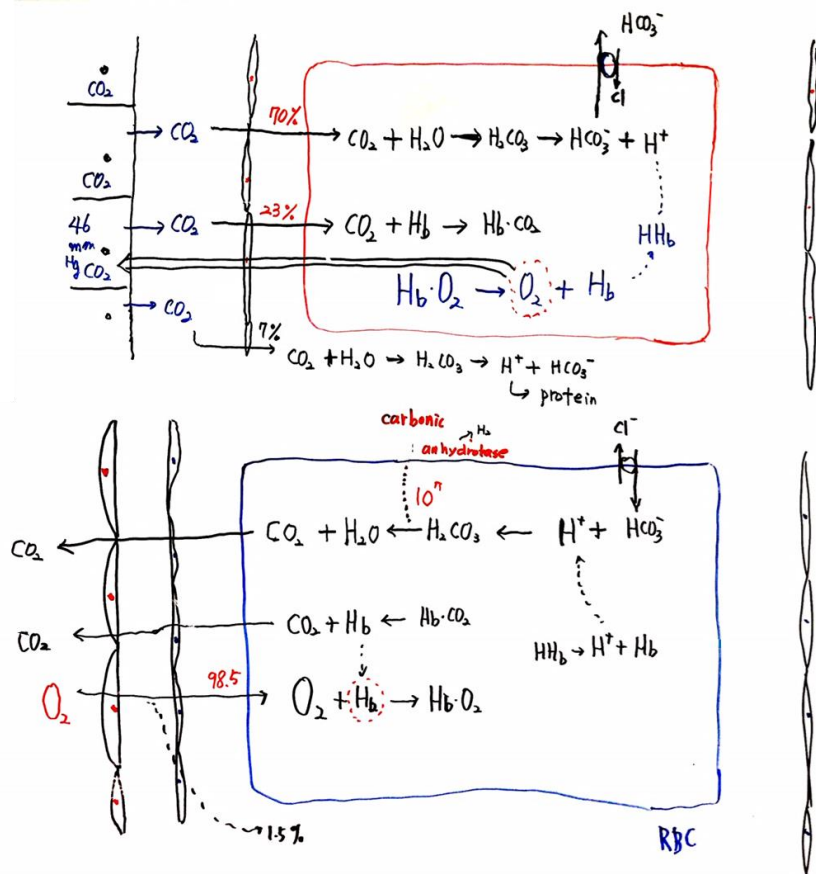
사람의 몸 속에 5 리터의 혈액이 있으므로 모두 1000ml 의 산소가 있다. 사람이 편히 쉬고 있을 때 산소 필요량은 250ml/min 이다. 필요량보다 4 배의 산소를 공급하고 있다.

산소는 과잉 공급되고 있다. 처음 산소를 필요로 했던 최초의 다세포에 비한다면 100 배나 많은 산소를 소모하는지도 모른다. 산소가 많아서 문제가 생긴다는 데이터도 많이 있다. 산소는 본질이 아니다. 본질은 이산화탄소이다.

시상하부에는 BBB(brain blood barrier)가 없다. 초 단위로 혈액 속 이산화탄소 농도를 체크하여 호흡의 속도를 조절한다. 초 단위로 이산화 탄소 양을 조절해야 되기 때문이다.

"I can't breathe"는 산소가 부족하다는 것이 아니라 이산화탄소를 배출하지 못해 힘들다는 의미이다.

호흡을 설명하는 도표이다.



모세 혈관이 모든 조직에 들어가 있다.

조직세포 속에는 이산화탄소가 있고 적혈구에는 산소가 있다.

호흡의 첫 번째 미션은 이산화 탄소의 배출이고 두 번째가 산소를 공급하는 것이다.

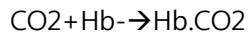
조직세포 속의  $P_{CO_2}$  는 46 mmHg 이다.  $CO_2$  가 간질액으로 확산에 의해 빠져 나와 모세혈관 벽을 통과하여 적혈구 속으로 들어 간다. 적혈구에 있는 물과 결합한 후 양성자와 중 탄산염으로 분해된다.



적혈구에 있는 chloride shift 채널을 타고 중 탄산염은 적혈구 밖 혈장 속으로 나간다.

70%의  $CO_2$  가 이 과정을 거친다.

두 번째 23%의  $CO_2$  는 적혈구 속 글로빈 단백질과 결합한다.



마지막 7%의  $CO_2$  는 혈장 속에서 물과 결합하여 탄산이 되고 탄산은 양성자와 중 탄산염으로 분해 된 후 양성자는 protein 과 결합한다.



적혈구 속에는 산소가 헤모글로빈과 결합해  $Hb \cdot O_2$  형태로 있다.  $Hb \cdot O_2$  가 분압 차이에 의해  $O_2$  와 Hb 로 분리되어  $O_2$  는 조직세포로 가고, Hb 는 적혈구 속의 양성자와 결합하여  $H \cdot Hb$  형태로 양성자를 가두어 둔다.

두 번째는 허파에서 허파파리와 적혈구의 기체 교환 과정이다.

허파파리와 모세혈관은 막이 붙어 있다. 그 간격이  $0.5\mu m$  에 불과하다. 막을 통해 산소와 이산화탄소가 상호 교환된다.

위의 그림과 정확히 반대 현상이 일어 난다.

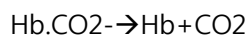
chloride shift 채널을 통해 이동하는 물질도 반대 방향이다.  $Cl^-$  이 나가고  $HCO_3^-$  가 들어온다.

$H \cdot Hb$  가  $H^+$  와 Hb 로 분리되고, 분리된  $H^+$  가  $HCO_3^-$  와 결합하여  $H_2CO_3$  가 된다.

이 탄산이 CA(carbonic anhydrase)에  $CO_2$  와  $H_2O$  로 분해된다. CA 는  $H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$  과정을 천 만배( $10^7$  배) 가속시킨다. CA 는 침 속에도 많다. 그래서 입을 통해 이산화탄소가 빨리 빠져 나갈 수 있다.

분리된  $CO_2$  가 허파파리로 들어가 호흡을 통해 배출된다.

헤모글로빈과 결합해 있던  $CO_2$  는 분리되어 허파파리로 가서 공기 중으로 배출된다.



허파파리에 있던 산소는 적혈구 속에 분리된 상태로 있던 Hb 와 결합하여 산화헤모글로빈( $Hb \cdot O_2$ )의 형태로 우리 몸 속의 조직세포로 수송된다. 98.5%의 산소가 이 과정을 거치고 1.5%는 혈장으로 들어간다.

식물과 동물이 행성 지구를 점령하고 있는 양태가 다르다.

식물은 이동할 수가 없어 공간제어를 포기하고 시간을 제어했다. 씨앗은 천 년, 만년이 지나고도 발아한다.

씨앗의 본질은 발생을 stop 한 것이다. 생명이 죽은 것이 아니라 생명의 진행을 일시 stop 한 것이다. 시간을 제어하는 기술이 식물이 획득한 놀라운 진화의 결과이다.

동물은 공간을 제어한 대신 시간제어를 포기했다. 동물의 발생은 시작하면 중지가 없다. 결국은 죽음까지 간다.

시간을 제어할 수 없어 멈추지 못한다. 결국은 죽음까지 간다. 죽음은 발생의 마지막 단계이다.

인간 사회에서 많은 용어들이 공간개념을 차용하여 사용한다. "한 고비 넘었다" "우러러 본다" "인생은 긴 나그네 길이다" 시간을 볼 수 없으니 나그네가 걸어 간 긴 공간적 거리로 시간을 치환한 것이다. 동물은 공간 속에 살지.

시간 속에 살지 않는다. 이것이 본질이다. 동물은 발생하고 나면 stop 할 수 없다. 죽음은 필연이다.

동물은 시간을 포기하고 공간을 장악했다. 그래서 확산한다. 지구를 넘어 다른 행성으로 간다.

우리가 사용하는 많은 개념이 공간적 개념이다.

우리의 기억은 idea 와 심벌로 구성되오 있다.

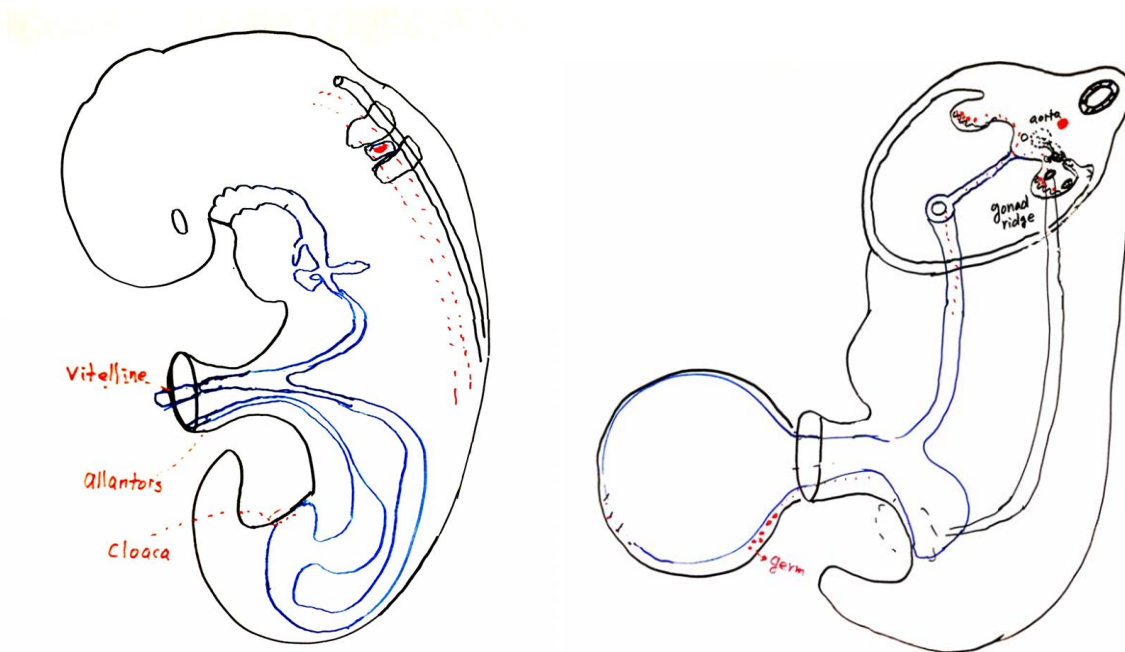
Idea 가 그림이고, 패턴이고, 모듈이고, 결국 이미지이다.

우리의 기억은 이미지와 언어가 결합되어 있다.

기억하기 위해서는 먼저 이미지를 기억해야 한다.

해부학을 훈련하면 기억력이 탁월해 진다. 이미지 베이스 학문이기 때문이다. 이미지에 언어 상징을 붙이면 논리가 형성된다.

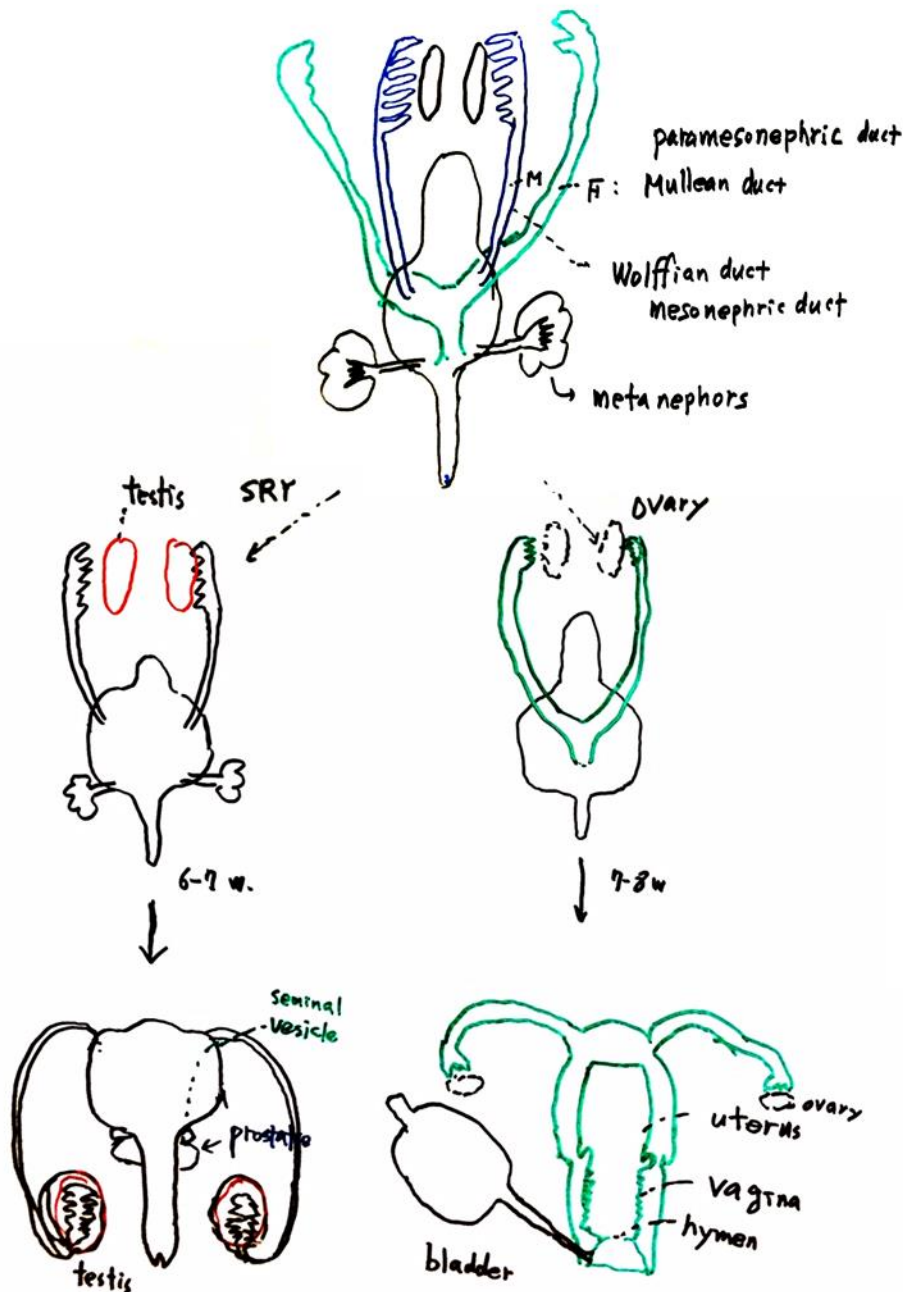
“태아를 그린다. 연필을 띠지 않고 그리는 연습을 해야 한다.



태아에 있는 allantois(요막), vitelline(난황), cloaca(배설강) 위치와 용어를 기억해야 한다. 요막이 요도가 되고 배설강이 항문이 된다.

앞 그림에서 붉은 점선이 노토코드이다. 노토코드가 Spinal cord 를 유도한다.

난황 막에 정자, 난자의 씨앗인 germ cell 이 생긴다. 혈관세포도 난황 막에서 시작한다. 혈관세포에서 나온 모세혈관이 난황을 녹여서 그 영양분을 사용한다. 이후 심장과 혈관이 결합하여 심방과 심실이 만들어 진다. 사람은 2-3 주 동안 난황의 영양분을 사용한다. 모두 사용하고 나면 난황이 줄어들어 안으로 들어간다. 혈관과 생식세포도 난황 막과 같이 들어간다. 난황 막은 창자가 된다. 생식세포가 태아 때부터 만들어 진다. 생식세포도 창자가 생성되는 경로를 따라 같이 올라가서 gonad ridge 에 도달한다.



방광 원기에 wolffian duct(mesonephronic duct: 중 신장 관)가 생긴다. 옆에 뮐러관(Mullerian duct)가 생긴다. 마지막에 metanephros 가 생긴다. 이것이 최종적으로 오줌을 만드는 콩팥이 된다.

이 형태에서 남자와 여자로 나누어 진다.

수정 후 6-7 주 경 남자에게는 mullerian duct 가 사라진다. 그리고 Wolffian duct 에 testis 가 붙어 아래로 내려오기 시작한다. 전립선이 나타난다. 전립선(prostate)도 정자와 정액의 30%를 만든다. 전립선에서 만들어진 정액이 여자 질 속을 중화시킨다.

여자는 wolffian duct 가 사라진다. Mullerian duct 에 난소(ovary)가 붙는다.

7-8 주 경 자궁과 질이 생긴다. Mullerian duct 에서 자궁(uterus)과 질(vagina)이 나온다.

요도는 방광(bladder)에서 나와 질 옆에 위치한다.

직장에서 나온 항문은 별도의 구멍을 형성한다.



요약하면 정자 난자의 뿌리는 발생 2-3 주에 생겨서 난황 막이 창자로 바뀔 때 창자 먹을 타고 올라가 wolffian duct ridged 이른다. Gonad 는 정소와 난소가 아직 분화되기 전이다.

콩팥은 중배엽에서 분화되었기 때문에 체절을 갖게 된다. 발생 때 콩팥은 체절마다 생긴다.

콩팥은 pronephros, mesonephros, metanephros 순서로 생긴다. Pronephros 는 곧 사라지고 mesonephros 가 태아 때 오줌을 생성하다가 후에 생식 기관에게 넘겨주고 metanephros 가 다시 만들어 진다. 생식 기관은 mesonephros 를 넘겨 받아서 된 것이다. 생식기관은 위에서 시작하여 아래로 내려가고, 콩팥은 아래에서 만들어져 위로 올라간다.

콩팥의 진화는 생식기관과 배설 기관의 5 억년에 걸친 전쟁이다.

수고하셨습니다.