

제 10 회 137 억년 우주의 진화 1 강 해당작용, TCA 회로 외

(박문호 박사님 강의 내용 초록)

-오늘 첫 강의는 과학리딩에서 했던 핵심적인 사항 중 DNA 와 연결되는 부분을 먼저 진행하려고 한다.

어느 강의에서든 맨 첫째 문장 맨 첫째 단어가 가장 중요하다.

먼저 이야기하는 것이 가장 중요하다

핵심 키워드 하나를 끝까지 밀어 부치면 모든 것이 해결된다.

지난 3 달 동안 머금었던 단어이다.

"분자"

분자라는 것이 도대체 무엇인가를 끝까지 묻는다. 그러면 "와! 그것 밖에 없구나"하는 것을 느끼게 된다.

분자는 우주 전체에서 유니크한 현상이다. 플라즈마 상태는 분자라는 것이 없다.

우주 물질의 99%는 항성에 있다. 즉 별에 있다.

태양은 지구 질량의 30 만배이다. 그러나 그 태양 속에는 분자는 없다.

우주의 항성에도 분자가 없다.

분자는 행성시스템에만 존재하고 성간 물질에 있을 뿐이다.

분자는 온도가 내려가야 존재한다.

별은 온도가 1000 만도 이상이기 때문에 분자가 존재할 수 없다.

우주에서 온도가 cool down 된 특이한 조건 속에서만 분자라는 현상이 출현한다.

분자상태가 되어야만 행성 시스템 표면, 지구 같은 행성에 생명이 출현한다.

우주에 수백만 종의 분자가 있지만 생명 시스템 전체에는 생명의 기원과 관련된 분자는 딱 2 가지 밖에 없다.

유기화학에 분자가 수 백만종이 넘는데 알아야 할 분자는 2 개 밖에 없다.

그 두 분자를 끝까지 물고 늘어지면 생명현상이 다 보인다.

생명의 기원을 추적하는 학자들이 모두 동의하는 내용이다.

첫째는 물(H_2O)이고 두 번째는 이산화탄소(CO_2)이다.

이 두 분자만 있으면 생명은 다 가능하다.

CO_2 는 현재 대기 중 0.04%이다.

생명 현상은 탄소골격(carbon backbone)에 물 분자가 쪼개져 들어가 결합되어 있는 것이다.

그래서 탄-수화물인 것이다.

탄수화물이 아니라 탄- 수화물이다.

그것을 여실히 보여주는 것이 TCA cycle 이다. 그리고 Glycolysis 이다.

생화학 공부를 3 년하지말고 TCA cycle 과 glycolysis 를 3 달 동안 몰아 부쳐라.

그러면 생화학이 다 보인다.

glycolysis 10 단계와 TCA cycle 10 단계를 옆에 적는다.

대부분의 교과서에서 TCA 회로를 원으로 그리는데 횡으로 적으면 변환과정을 직감적으로 느낄 수 있다.

지구상 생명현상에서 제일 중요한 딱 한 분자는 glucose 이다.

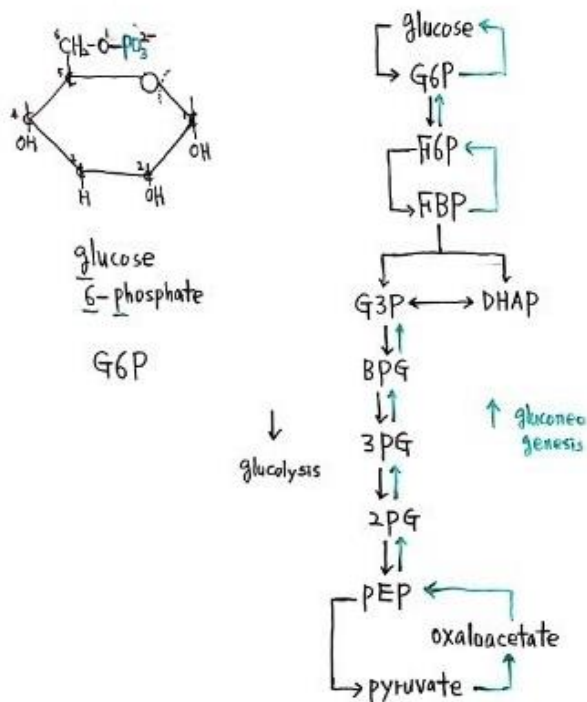
DNA 도 Glucose 에서 나온다.

아미노산도 glucose 의 back bone 구조를 탄다.

글루코스가 없으면 아미노산도 출현할 수 없다.

-글루코스를 그려보자

Glycolysis



세포 속에서 글루코스 단독으로 존재하는 경우는 드물고 인산이 붙는다.

인산이 붙는 이유는 전기를 띠게 하기 위한 것이다.

전기를 띠면 인지질 이중 막을 통과할 수 없다.

세포 속에 들어와서 빠져 나가지 못하게 하기 위해서다.

글루코스는 세포 속에서 99%가 고리 형태로 존재한다.

사슬 구조는 1% 미만이다.

glycolysis 는 해당작용이다. 해당 작용은 6 개 탄소 골격이 쪼개지는 것이다.

6 탄당이 5 탄당, 4 탄당, 3 탄당으로 쪼개지는 과정이다.

생화학에서 가장 중요한 과정이다.

탄소에는 번호가 있다. 모든 생화학은 탄소 번호를 반드시 따라야 한다.

그만큼 탄소 번호가 중요하다.

G6P는 글루코스의 6번째 탄소에 인산이 붙어있다는 뜻이다.

glycolysis는 cytosol에서 이루어지며 시토솔에는 산소가 없다.

생화학은 언어학이다. 용어에 익숙하지 않으면 할 수 없다.

G3P와 DHAP은 원자 종류와 개수는 동일한 이성질체이다.

두 분자는 isomerase에 의해 상호 변환이 가능하다.

Glycolysis(해당작용)와 반대로 pyruvate에서 거꾸로 glucose를 만드는 과정은

Gluconeogenesis(당 신생)이다.

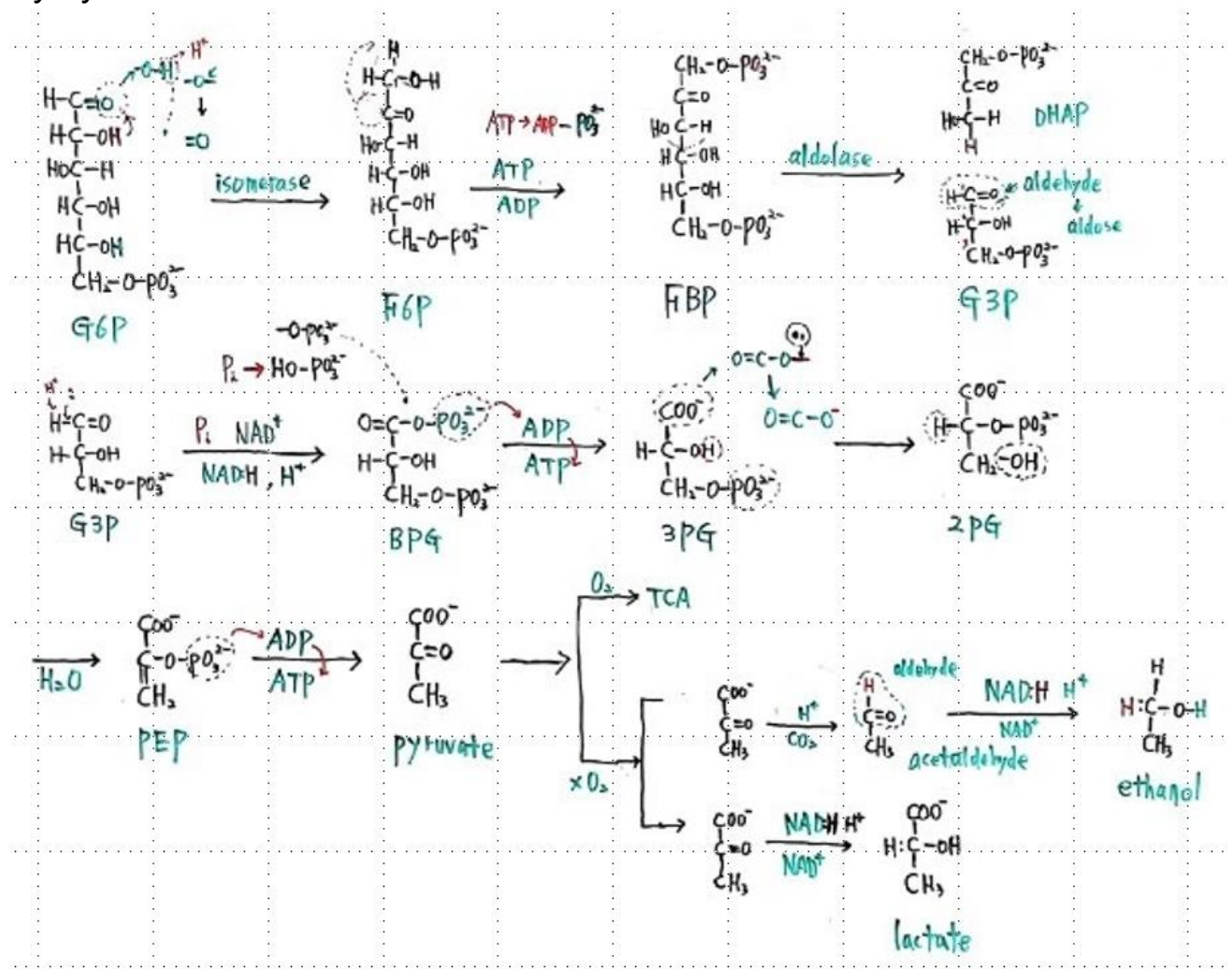
이 당 신생 과정에서는 pyruvate가 바로 PEP로 가지 못하고

oxaloacetate로 바뀐 후 PEP로 바뀐다.

위 도표에서 보듯이 glucose-G6P와 F6P-FBP 단계도 다른 효소를 필요로 한다.

-즉 꺾쇠 모양 화살표가 있는 부분은 불가역적이며 조절 포인트이다.

Glycolysis



탄소는 팔이 네 개다.

팔이 세 개이면 네 개로 만들어 주어야 한다. 다섯 개면 네 개로 만든다.

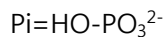
양성자를 붙였다 뗐다 하면 팔 개수를 맞출 수 있다.

분자는 공유 결합으로 묶여진 원자의 집단이다. 분자의 핵심은 공유결합이다.

여기서 모든 선은 공유결합이고 전자 2 개다. 공유결합은 전자 2 개가 결합되어 있다.

계속 훈련해야 한다. 생화학은 훈련 밖에 없다.

앞의 분자를 일단 그대로 적고 변화된 부분만 다시 적는다.

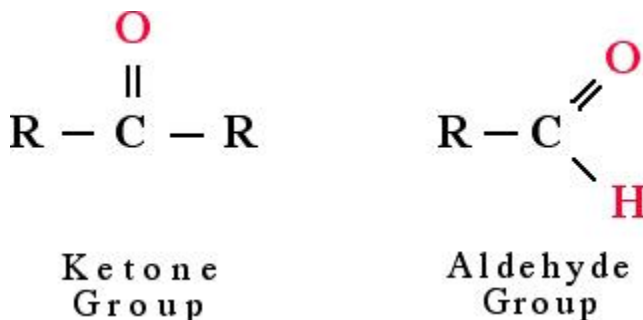


G3P 는 glyceraldehyde 3 phosphate 인데 glyceride 에 알데하이드가 붙어 있는 구조이다

$\text{O}=\text{C}-\text{H}$ 형태가 aldehyde 구조이다.

알데하이드 구조의 당을 알도스라 한다.

- 당은 aldose 구조와 ketose 구조로 크게 구분한다.



G3P 에서 BPG 로 가는 단계가 해당작용에서 가장 어려운 부분이다.

여러 번 훈련을 해봐야 한다.

NAD^+ 는 전자 2 개와 양성자 1 개를 운반하는 셔틀버스 역할을 한다.

생명은 산화, 환원 작용이다.

NAD^+ 는 산화제이며 NADH 는 환원제이다.

NAD^+ 에서 NADH 로 바뀔 때에는 전자 두 개(-H)와 양성자 하나(H^+)를 떼온다.

$\text{Pi} = \text{HO}-\text{PO}_3^{2-}$ 이다. 이것을 모르면 많이 헛갈린다.

이 분자는 $\text{H}-\text{O}-\text{PO}_3^{2-}$ 로도 표시할 수 있다.

그래서 H^+ 와 $-\text{O}-\text{PO}_3^{2-}$ 로 나눌 수도 있고, HO-와 PO_3^{2-} 로 나누어 질 수도 있다.

또한 H^+ , $-\text{O}-$, PO_3^{2-} 세가지로 나눌 수도 있다.

생화학은 그대로 적는 것이 지름길이다.

탄소 팔이 네 개라는 사실 하나면 문제가 다 풀린다.

원자끼리의 결합은 단일결합, 이중결합, 삼중결합이 있다.

단일결합은 시스마 결합이고, 이중결합은 하나는 시그마결합이고 나머지 하나는 파이결합이다.

삼중결합은 시그마결합 하나와 파이 결합 2 개로 구성되어 있다.

파이 결합은 쪼개져서 다른 첨가 반응이 일어난다.

그래서 생화학이 굉장히 다양해 진다.

생화학을 안다는 사람은 해당과정을 하나도 헛갈리지 않고 5 분 내로 적을 수 있어야 한다.

각각의 분자식을 3 초내로 떠올리지 못하면 아는 것이 아니다. 자기 지식이 아니다.

Pyruvate 의 운명은 세갈래 길로 간다.

산소가 풍부한 미토콘드리아 속에서 pyruvate 는 TCA 회로에서 모든 것을 태워서 NHDH 와 ATP 를 만든다.

산소가 부족하거나 없는 곳에서는

첫 번째로 pyruvate 가 환원되어 Lactate(젖산)가 만들어 진다.

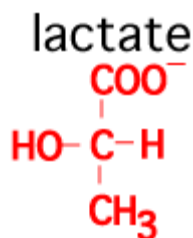
주로 근육세포에서 산소 공급이 잘 되지 않는 상태에서 운동을 계속하면 젖산이 생긴다.

탄소는 팔이 네 개이다. 유기화학은 이것 하나면 된다.

이 팔에 무엇이 붙느냐에 따라 분자의 성질이 바뀐다.

lactate 는 탄소에 CO₂ 와 H₂O 그리고 CH₃ 가 붙어 있다.

초기 지구에 20%나 있던 이산화탄소와 바다의 물과 그리고 메틸기가 붙어 있는 것이다.



물(H₂O)이 분해되는 방법은 여러 가지 이다.

초기 지구에는 수소가 풍부하였기 때문에 탄소에 수소가 많이 붙었다.

그래서 CH₃ 와 CH₄ 가 많았다.

가장 환원된 상태가 메탄(CH₄)이며 지구 초기 대륙과 대양은 환원상태였다.

또한 메틸기(CH₃)는 후생유전학의 핵심이다. 메틸기가 붙으면 DNA 인출이 안된다.

가장 산화된 상태는 CO₂ 이다.

호흡에서 산소는 물로 바뀌고 CO₂ 로 나간다. 산소가 물로 바뀌는 것이 호흡이다.

그래서 생명은 기체이다. 생명은 이산화탄소이다.

두 번째는 pyruvate 에서 CO₂ 가 빠지고 양성자가 들어오면 아세트알데히드가 되고

아세트알데히드가 NADH 에 의해서 환원되면 에탄올(ethanol)이 만들어 진다.

알코올이 만들어 지는 과정이다. 모든 곡식은 술이 된다.

지구상의 모든 생물은 H₂O 와 CO₂ 에서 나왔다.

호흡을 통해서 산소는 물로 환원된다. 그 과정에 이산화탄소도 생긴다

생명은 기체이다. CO₂ 라는 기체이다. 생명은 CO₂ 로 되어 있다.

대들보 같은 생명의 기둥이 CO₂ 이다. 탄소가 물을 함유한 형태다.

그래서 탄-수화물이다. 탄수화물이 아니고 탄-수화물이다.

탄소는 지구 질량의 1%도 안 된다. 맨틀층에는 거의 없다. 대부분 SiO₂ 이다.

탄소는 암석 속에는 석회암 속에 있다.

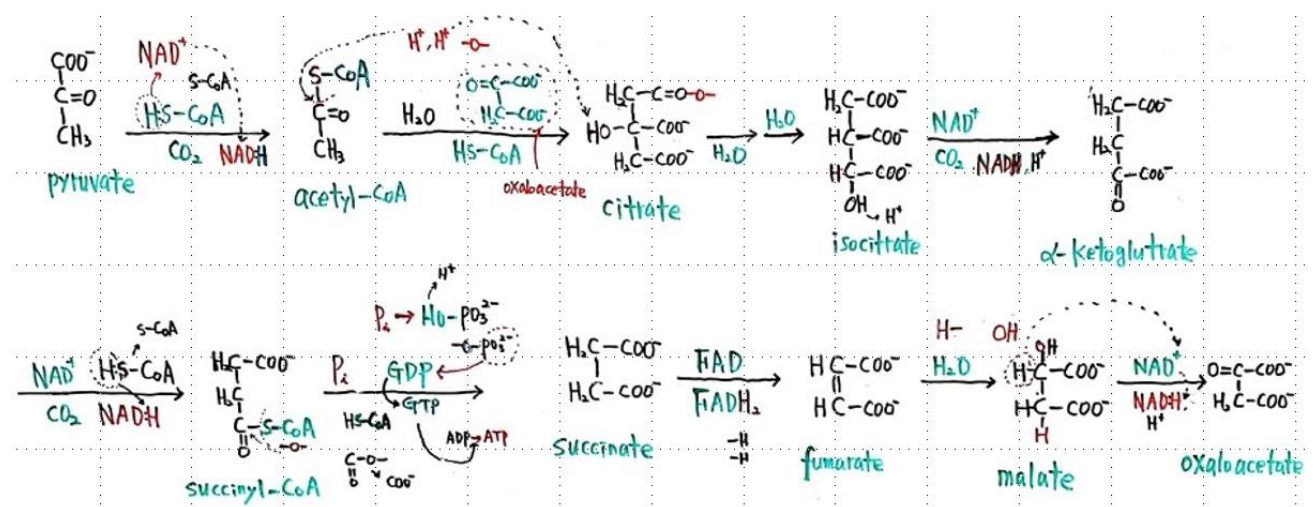
그 1%도 안 되는 탄소가 석회암을 통해서 대륙을 만들기도 하고 그 중에 극히 일부는 대기 중 이산화탄소 형태로 존재한다.

그 이산화탄소가 물에 녹아 탄산이 되고 그기에 양성자가 빠져 나오고 칼슘이 들어가면서 석회암이 출현하였다.

탄소라는 원자를 끝까지 물고 늘어져야 한다.

탄소에 팔이 네 개라는 것 하나로 지구의 생명과 대륙의 역사까지 다 이야기 할 수 있다.

TCA cycle



-TCA 회로는 시트르산 회로, 구연산회로, Krebs cycle 이름이 네 가지나 된다.

모든 길은 로마로 통한다. 모든 생화학은 TCA 회로로 통한다.

TCA 회로는 피루브산의 세 번째 길이다.

지구 역사 20 억년 이후부터 미토콘드리아라는 박테리아가 숙주세포에 잡아 먹히면서
행성 지구의 대기에 축적되기 시작한 산소라는 기체를 이용한 호흡이 출현한다.
불타는 용광로를 어떤 세포가 머금기 시작한다.

루이스 토마스는 "세포라는 대우주"에서
"지구상에서 산소라는 기체를 이용하여 호흡하는 동물은, 이동하는 미토콘드리아의 식민지"라고
말했다.

우리 몸에서 물을 다 빼고 난 건조 질량의 50%가 미토콘드리아이다.
세포 하나당 100 개에서 수천 개의 미토콘드리아가 있다.
난자 속에는 20 만개가 있다.

미토콘드리아에서 TCA 회로를 통해 대규모로 ATP 를 만들어 낸다.
TCA 회로는 피루브산에서 시작된다.
피루브산은 눈감고도 쓸 수 있어야 한다.그만큼 중요한 물질이다.
광합성의 모든 결과물은 피루브산을 통해 미토콘드리아로 들어 간다.

그동안 TCA 회로를 원 형태로 표시했으나 가로쓰기로 하면 더 편하다.
그리고 입력물과 출력물을 위와 아래에 표시하면 금방 끝난다.

피루브산이 미토콘드리아에서 HS-CoA 라는 효소에 의해 복잡한 과정을 거쳐 Acetyl-CoA(아세틸
코엔자임 A)로 바뀐다.
Acetyl-CoA 는 아마도 지구상에서 Glucose 다음으로 두 번째 중요한 분자이다.
ATP 만큼 중요한 분자이다.
우리가 먹는 모든 지방, 삼겹살도 마지막에는 Acetyl CoA 로 바뀐다.
Acetyl-CoA 가 만드는 분자는 엄청나게 많다.

해당작용과 TCA 회로만 알면 다 된다. 그런데 대부분의 사람들이 정면 승부를 하지 않는다.
10 년동안 해야 한다.
다른 공부하지 말고 해당작용과 TCA 회로를 100 번만 적어보라.
그러면 느낌이 완전히 다르다.

이것만 알면 된다는 것이 어떤 학문에든 있다. 그런데 처음 그것을 대하면 절벽을 느낀다.
그러나 한 달만 정면 승부하면 그 절벽이 뚫린다.
그런데 한달 정면 승부하지 않고 30 년 헛갈린다.

그래서 한달, 머리에 피가 나도록 해보자는 운동이 박자세의 과학운동이다.
피하면 안 된다. 왜? 이것 밖에 없으니까.
알코올이 어떻게 생기고 호흡이 원지는 해당작용과 TCA 회로의 모든 과정을 거쳐야만 알 수
있다. 그렇게 하지 않고는 알 수가 없다.
10 시간 고생할래? 10 년 헛갈릴래? 한달 정면승부할래? 30 년 헛갈릴래?
아는 척은 하지만 실재로는 모른다.

지식은 3 초이내로 인출할 수 없으면 자기 지식이 아니다.
이해하는 것으로는 지식이 부족하다.
그것으로는 지식의 활용단계를 넘어가지 못한다. 통합적 관점이 보이지 않는다.

여기에 나오는 분자식 하나하나가 돈으로 치면 1 억이 넘는 것이며 다이아몬드 같은 것을
던져주는 것이다.
수를 놓아 집에 붙여 놓아야 할 중요한 분자들이다.

TCA 회로에서 3 분자의 CO₂ 가 나온다. 우리가 먹는 모든 음식물은 CO₂ 덩어리라는 것을 보여주는 것이다.

여기 까지 과정에서 C, H, O 이외의 원자는 없다. 질소(N)도 보이지 않는다. 딱 다른 한 분자는 S 이다. 황의 역할에 주목해야 한다.

TCA 회로에서는 질소가 없다. C, H, O 뿐이다. 단백질이 없고 DNA도 없다. 유전자가 개입하기 이전의 태초의 생명에 관한 이야기를 하고 있다. 아미노산을 통해 질소가 들어왔다. 그러나 그것 없이도 생명은 된다. 생명은 DNA 없이도 가능 했다. DNA 보다 Glucose 가 먼저다. DNA 는 나중에 나와 생명이라는 교향곡을 지휘하게 된다.

질소가 언제 생명에 들어오게 되었는지 아미노산이 언제 출현하는가 그리고 DNA 가 언제 지휘하게 되었는가를 주시하게 된다. 물론 ATP 에는 질소가 있지만 실은 나중에 들어온 것이다. 그것들은 화살표 속에 감춰진 것들이고, 들어난 주인공은 C, H, O 뿐이다. 질소가 없다.

운동 선수들이 한 달만 운동을 하지 않으면 근육이 풀린다. 공부도 마찬가지이다. 공부를 쉬는 것은 현상 유지가 아니라 뒤로 BACK 하는 것이다.

주자는 학여 역수행주 부진즉태(學如 逆水行舟 不進即退)라고 했다. 물을 거슬러 올라가는 배는 나아가지 않으면 후퇴하듯, 학문도 쉬면 후퇴한다. 공부를 1년 쉬었다 하겠다는 사람에게는 공부하지 마라고 한다. 그런 사람은 공부하는 사람이 아니다. 1년동안 밥 먹지 말라는 것과 같다. 그 정도로 각오하지 않으면 학문은 진척이 안된다. 명확하다.

10년 동안 이 강의를 한번도 빠뜨리지 않고 해 봤더니 확실해 졌다. 바로 한달 전까지 생각도 못했던 놀라운 view point 가 끝까지 밀어 부치면 그때부터 보인다. 공부는 한 두 달 쉬고 하겠다는 그런 개념에 해당되지 않는다. 운동 선수들은 무덤에 가면 편히 쉴 테니 중간에 쉬자는 얘기 하지 말라고 한다.

TCA 회로에서 주전 전수는 NADH 이다. 전자 2 개를 머금고 있다. 태양으로부터 달구어진 전자다. 그 전자를 마지막에 전자전달계(Electric transfer chain: ETC)에 내려 놓는다. 아직은 본게임이 아니다.

FAD 는 수소원자 2 개를 이동시키는 셔틀버스이다. Core 에 FMN 이 박혀 있다.

TCA 회로는 전체 호흡과정의 반밖에 안 된다.

glycolysis	TCA	ETC	ATP
2 ATP	2 ATP		4
2 NADH	8 NADH	10 NADH x 3	30
	2 FADH	2 FADH x 2	4
glucose → 38 ATP			

한 분자의 Glucose 에서 해당작용과 TCA 회로를 거치는 동안 Glycolysis 에서는 4 분자의 ATP 가 생겼으나 2 분자를 미리 사용했기 때문에 2 분자의 ATP 가 남는다.

TCA 회로에서도 2 분자의 ATP 가 생긴다.

NADH 는 해당작용에서 2 분자, TCA 회로에서는 8 분자가 생긴다.

FADH 는 TCA 회로에서 2 분자가 생긴다.

ETC 에서는 NADH 와 FADH 가 ATP 로 바뀐다. NADH 1 분자로부터 3 분자의 ATP 가 , FADH 1 분자로부터 2 분자의 ATP 가 생긴다.

그래서 1 분자의 Glucose 에서 38 분자의 ATP 가 생긴다.

30 분자의 ATP 가 미토콘드리아에서 생겼다.

이것이 지구상에서 다세포 생물이 출현하는 계기가 되었다.

식물 동물 곰팡이 버섯이 왜 출현했느냐 하면 대규모 에너지가 생성 되었기 때문이다.

미토콘드리아가 출현하기 전 원핵 세포는 TCA 회로가 없었기 때문에

기껏해야 해당작용에서 2 분자의 ATP 와 2 분자의 NADH 밖에 생산하지 못했다.

그것이 바로 박테리아이다.

그런데 미토콘드리아 출현 후 진핵세포가 되면서 세포크기가 1 만배나 커지고

세포들이 에너지가 넘쳐나기 때문에 다른 세포들과 연합하기 시작하면서

다세포 생명체가 대략 10 억년 전에 지구상에 출현한다. 생명의 역사는 여기에 다 있다.

그런데도 지금까지의 분자 속에는 질소가 없다.

그래서 생명은 CO₂ 와 H₂O 로 충분하다. 정말 중요한 점이다.

박테리아에서 역(逆) 시트르산 회로가 발견되었는데 역 시트르산 회로에는 아무것도 필요 없다.

효소도 필요 없다.

단지 CO₂ 와 H₂O 로 생명 출현이 가능하다는 것을 역 시트르산 회로가 보여 주었다.

나중에 출현한 유전물질들이 이 회로를 지휘하게 되었다고 보고 있다.

이들이 지배하던 세계는 열역학적 세계이다. 확률과 열역학이 지배하는 물리적 세계이다.

general 한 자연법칙에 뿌리 내리고 있다.

H₂O 와 CO₂ 만 있으면 생명이 가능하다.

해당작용과 TCA 회로를 10 분 내에 쓸 수 있으면 그 사람은 생화학자다. 속도가 중요하다.

분자 하나 기억하는데 3 초 이상 걸리면 자기 지식이 아니다. 그러려면 적어도 100 번 정도는 훈련 해야 한다.

한 1 년 정도 걸릴 것이다. 아무것도 하지 말고 여기 20 가지 단계를 100 번 적어보라.

그러면 지구 초기 모양들, 바다가 어떻게 생겼는지 느낌이 온다.

그게 바로 저가 공부하는 방식이다.

TCA 회로면 다 끝난다는 것을 설명하는 책이 1000 페이지가 넘는다.

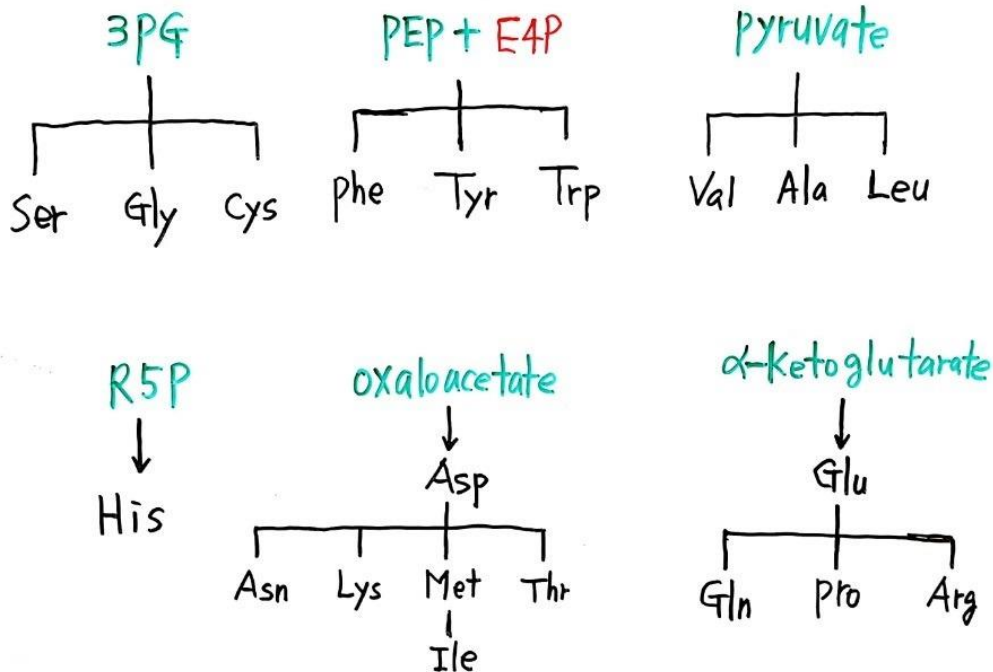
글루코스 분자 하나가 분해되어 이 전체를 만든다고 생각하면 된다.

그러면 DNA 와 어떻게 연결되는지 보자.

DNA 는 단백질이고 단백질은 아미노산이다. 그러면 아미노산의 출처를 아는 것이 생명현상에서 가장 중요한 것 중 하나다.

아미노산의 기원이 6 가지 이다.

Amino acids



처음에 나오는 것이 3PG에서 나온다. 3PG에서 3가지가 나온다.
아미노산이 모두 글루코스에서 나온다는 것. 세상에 기절할 일이다.
세가지가 Serine, Glycine, Cysteine이다. 이름과 분자식 다 알아야 한다.
글루코스가 분해되어 아미노산이 그냥 나온다.

두 번째는 PEP와 E4P(Erythrose 4 phosphate)의 결합에서 나온다. 두 가지 모두 글루코스가 분해되어 나오는 물질이다.

PEP는 해당 작용에서, E4P는 PPP(Pentose phosphate pathway)에서 나온다.
인간의 정신작용을 만들어 주는 아미노산들이 여기서 나온다. 정신작용도 글루코스에서 왔다.
Phenylalanine, Tyrosine, Tryptophan이 만들어 진다.
티로신에서 도파민, 노르아드레날린, 아드레날린이 만들어 지고,
트립토판에서 세로토닌이 만들어 지고, 세로토닌에서 멜라토닌이 만들어 진다.

세 번째 아미노산은 Pyruvate에서 나온다.
피루브산에서 술이 만들어 지고, 젖산도 만들어 지고 그리고 아미노산이 세 종류나 만들어 진다.
피루브산에서 만들어 지는 아미노산은 Valine, Alanine, Leucine이다.

네 번째는 R5P(Ribose 5 phosphate)에서 Histamine이 나온다.
히스타민은 알러지와 관련이 있다.

다섯 번째는 TCA 회로의 Oxaloacetate에서 나온다.
중간과정에 Aspartate가 나오고
아스파라테이트에서 Asparagine, Lysine, Methionine, Threonine, 네가지가 나온다.
그리고 메티오닌에서 Isoleucine이 나온다.

마지막 아미노산의 기원 물질은 α -ketoglutarate 이다.

알파케토글루타레이트에서 공장 만들어지는 아미노산이 Glutamate 이다.

글루타메이트가 우리의 기억을 만드는 물질이다. 글루코스가 분해되어 나오는 물질에서 우리의 기억이 형성된다.

뇌과학도 여기서 시작해야 한다. 모든 것의 시작이 글루코스이다. 글루코스 하나를 알면 끝이다.

글루코스 하나를 제대로 알려고 하면 여기 20 개 과정을 5 분 내에 적으면 된다.

1 년 동안 훈련해야 한다.

훈련! 공부가 아니고 훈련이다. 자전거 타는 것이나 수영 배우는 것과 동일하다.

수영이나 자전거 타는 것은 이해하는 것 만으로는 안 된다. 훈련해야만 잘 할 수 있다.

자연과학은 할 수 있느냐, 못 하느냐 두 가지 뿐이다. 중간은 없다. 할 수 없으면 모르는 것이다.

글루타메이트에서 나오는 아미노산이 3 가지이다.

Glutamine, Proline, Arginine 이다.

이로서 아미노산 20 가지가 모두 끝났다.

전부 글루코스에서 나온다. 아미노산을 연결하면 단백질이 된다.

단백질 연결 조합을 만드는 것이 유전자이다. DNA 공부보다 글루코스 공부를 먼저 해야 한다.

글루코스를 정확히 모르니까 DNA 를 공부해도 모른다.

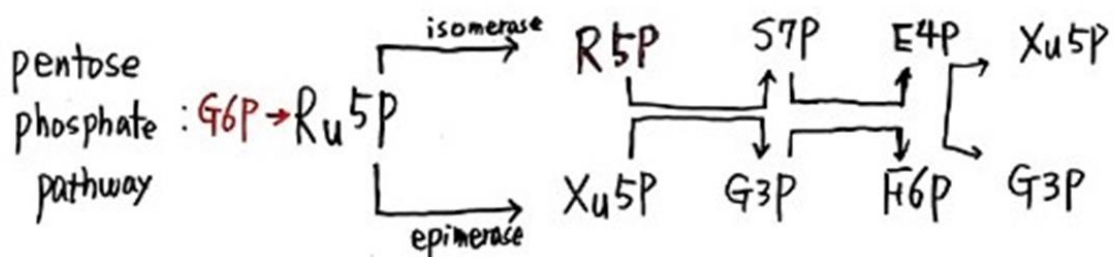
DNA 를 만드는 중간 과정에 PPP(pentose phosphate pathway)가 있다.

글루코스가 분해되어 해당과정과 TCA 회로로 가는 것이 메인 인데 일부가 다른 길로 가는 것이 PPP 이다.

PPP(5 탄당 인산화)에서 생기는 물질들을 이해해야 DNA 를 만드는 데 중요한 물질인 리보스와 디옥시 리보스를 이해할 수 있다.

즉 RNA 와 DNA 를 이해할 수 있다.

Pentose phosphate pathway



PPP 는 Ru5P(Ribulose 5 phosphate)에서 시작한다.

Ru5P 는 두 갈래로 갈라지는데

isomerase 에 의거 R5P(Ribose 5 phosphate)가 생기고,

epimerase 에 의해 Xu5P(xylulose 5 phosphate)가 생긴다.

R5P 에서 RNA 가 유래한다.

R5P 와 Xu5P 의 상호 작용에 의거 S7P(sedoheptulose 7 phosphate)와 G3P 가 생긴다.

S7P 와 G3P 의 상호작용에 의거 E4P 와 F6P 가 생기고 이 두 가지와 Xu5P 의 상호 작용으로 G3P 가 생긴다.

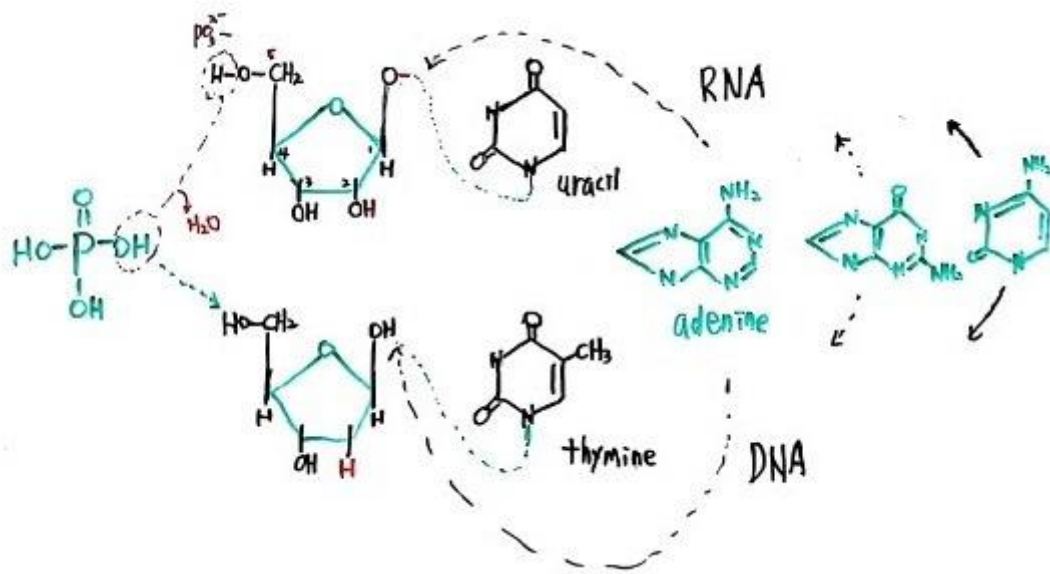
기원물질인 Ru5P 는 G6P 에서 온 것이다.

DNA 와 RNA 는 R5P 에서 시작한다. 전부 글루코스에서 온 것이다.

이런 식으로 공부해야 한다. 하나만 알면 끝까지 다 만들어 진다.

이것을 다 이해하면 RNA, DNA 를 만들어 낼 수 있다.

Nucleotides



RNA, DNA 는 이 과정에서 그냥 파생되어 나온다.

먼저 리보스 당을 그린다.

두 개를 똑 같이 그린다.

다음 결 사슬 구조를 그린다. 결 사슬은 길게 그린다.

공통점을 먼저 그린다. 그러면 차이점이 들어난다. 차이점을 아는 것이 지식이다.

차이점을 먼저 보려고 하면 보이지 않는다. 공통점을 빼버리면 차이점이 나온다.

그래서 공통점을 먼저 적는다.

순서가 있다. RNA 를 먼저하고 DNA 를 한다. 진화적으로 RNA 가 먼저 출현했다.

탄소 번호를 적는다.

공통점을 먼저 적는다. 3 번이 공통으로 OH 이다. 1 번과 4 번은 H 이다.

5 번에는 CH₂OH 인데 CH₂-OH 로 적는 것이 좋다.

그리고 차이점을 적는다. 2 번 만 차이가 난다. RNA 는 2 번이 OH 이고 DNA 는 H 이다.

DNA(Deoxyribonucleic acid)에서 deoxy 는 산소가 없다는 말이다.

OH 에서 O 를 빼고 H 만 남았다.

같은 점을 먼저 적고 같은 점을 제거하면 차이가 들어 난다.

더 중요한 것은 이 두 분자 모두 글루코스에서 왔다는 것이다.

그 중요한 DNA 조차도 글루코스에서 왔다. 다 끝났다.

이렇게 확고한 개념이 생기려면 무수하게 반복해야 된다.

리보스당 ,디옥시리보스당 둘 다 5 탄당이다. 글루코스는 6 탄당이다.

글루코스에서 이산화탄소 1 분자가 빠진 것이다.

글루코스에 카본이 6 개라는 것이 엄청난 함축된 의미가 있다. 뭐든지 만들어 낼 수 있다.

카본 3 개짜리는 그렇게 못한다.

지금부터는 양 어깨 견장을 다는 것이다.

짐 싣는 메카니즘은 뻥하다. OH 에서 양성자를 떼내면 짐을 실을 팔이 나온다.

양 어깨에 짐을 싣는다.

왼쪽 어깨에는 인산을 싣는다. 탈수 중합. 물을 빼내고 결합시킨다.

오른 쪽에는 염기를 붙인다.

RNA 에만 들어가는 염기는 우라실이다. DNA 에만 들어가는 염기는 티민이다.

염기는 기원물질이 있다. 피리미딘의 중간 물질은 Orotate 이다. 그러나 순서가 있다.

우라실이 먼저고 다음이 시토신이고 티민이 마지막이다.

우라실과 시토신, 티민의 공통점을 먼저 그린다.

벤젠고리에서 공통점은 질소 2 개와 산소 이중결합 그리고 고리 안의 이중결합 한군데 위치가 모두 동일하다.

함부로 공부하지 말자. 공통점을 먼저 적거나 공통점을 빼버려야 한다.

그러면 차이점이 들어난다. 그것만 기억하면 된다.

여기에서 차이점만 적으면 된다.

벤젠고리 꼭대기에 이중결합산소가 있는 것이 우라실이다.

티민은 우라실에 메틸기만 붙이면 된다.

티민에는 메틸기가 있다는 것만 알면 된다.

그러면 리보실과 염기를 어디에서 연결하느냐.

리보실 1 번 탄소에 붙은 OH 에서 양성자가 빠지고

O 에 붙어 있는 붉은 팔을 벤젠고리 맨 아래쪽 질소에 꼽으면 된다.

그래서 리보스 당과, 염기 그리고 인산을 결합한 것이 Neucleotide 이다.

이것이 DNA 와 RNA 의 기본 물질이다. 어디서 왔느냐. 글루코스에서 왔다.

우라실은 전적으로 RNA 에 쓰이고 티민은 DNA 에만 쓰인다.

공통으로 쓰이는 것이 초록색으로 그린 세 가지이다.

퓨린 2 종류(아데닌과 구아닌) 그리고 피리미딘 1 종류(시토신)이다.

시토신은 우라실의 이중결합 산소 대신에 아민 기가 붙는다.

그리고 질소와 아민 기 사이에 이중결합이 하나 더 있다.

이 그림을 10 번 정도 그려 보아야 한다.

그러면 RNA 와 DNA 분자 구조를 영원히 헛갈리지 않고 기억할 수 있을 것이다.

그리고 인산기가 하나 있으면 AMP, 두개면 ADP, 세개면 ATP 가 된다.

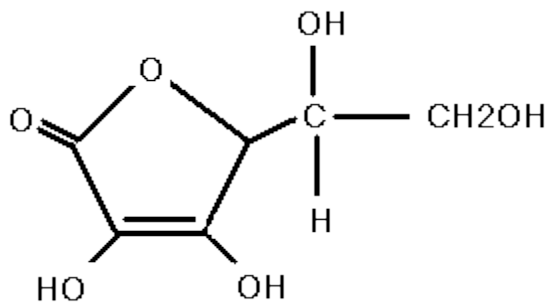
다시 요약하면 아미노산은 포도당에서 나왔다.

DNA 도 포도당에서 나왔다. 더 이상 없다. 끝이다. 공부 이렇게 하는 것이다.

그래서 다시 돌아와야 한다. TCA cycle, 해당작용 무지하게 반복해야 한다.

전체 20 스텝 적는데 머뭇거리면 안 된다. 5 분 내에 적어야 한다.

5 탄당 분자 하나 그려보자.



Vitamin C 이다.

비타민 C 라고 백날 이야기해도 아무런 정보도 없다.

이 분자를 그리고 나면 비타민 C 가 뭔지 안다. 설명할 필요가 없다. 이게 바로 Science 이다.

분자식을 알면 더 이상 설명이 필요 없다. 비타민 C 라는 말 속에는 어떤 정보도 없다.

헛갈리기만 한다.

비타 아민이다. 아민인데 생생한 생화학 작용을 하는 아민을 비타아민이라고 한다.

아민은 아미노산 만드는 아민이다.

Vitamin, Indolamin, Catecolamin

카테콜 아민에서 도파민, 노르에피네프린, 에피네프린, 우리의 정신작용 대부분을 지배하는 신경조절물질이 나온다.

인돌아민에서 세로토닌과 멜라토닌이 나온다.

비타아민에서는 비타민 A 부터 10 종류가 넘는다. 전부 아민이다.

다양한 생화학 작용은 전부 질소가 들어오는 아미노산부터 시작한다.

그래서 생명현상이 다양하게 펼쳐지는 것은 맞지만 본질은 아니다.

본질은 이산화탄소이다. 이산화탄소가 물과 결합하면 지구상 모든 생명현상이 가능하다.

그게 바로 광합성에서 나온다.

지금 해당작용과 TCA 회로에 나오는 어떤 분자에도 질소가 없다.

아미노산 20 가지도 전부 글루코스에서 왔다.

지구 역사 20 억년 이후부터는 DNA 작용이 굉장히 활발해 지면서 이전에 만들어진 것들을 지휘하기 시작했다.

수만 종류의 단백질이 생기면서 다양한 생명 현상이 이루어 졌지만 그것이 본질은 아니다.

본질은 물과 이산화탄소이다.

물은 사람들이 이해하는데, 더 중요한 것은 이산화탄소이다.

이산화탄소가 얼마나 중요한지 아는 것이 과학지식을 가능한다.

마쓰이 다카후미가 "지구 46 억년의 고독"에서

"지구 46 억년의 역사는 이산화탄소가 대기, 대양, 대륙을 순환하는 역사"라고 말했다.

순환하는 역사 속에서 특히 지구 표면에서 일어나는 현상을 생명현상이라 한다.

그리고 지금의 기후 변동도 이산화탄소가 대륙에 암석으로 매몰되어 있던 것을

인류가 300 년 전부터 끄집어 내어 태우면서

대륙에 있던 이산화탄소가 대기로 올라가면서 온실효과가 일어나고 지구 전체가 야단인 것이다.

온실효과는 이산화탄소의 순환사이클을 인간이 살짝 비틀어 놓은 것이다.

식물을 나누는 C3와 C4 식물도 이산화탄소의 농도와 관계가 있다.
중생대 때는 이산화탄소 농도가 신생대 보다 5 배나 높았다.
온실효과로 중생대 2 억년 동안에는 남극대륙에도 빙하가 없었다. 남극에도 공룡이 살았다.

이산화탄소 하나면 다 끝난다.
그것을 리얼하게 보여주는 것이 해당작용과 세포 속의 호흡이다.
호흡의 최종 부산물은 생명 시스템을 순환하던 이산화탄소가 대기 중 이산화탄소로 바뀌는 것이다.
대기 중 이산화탄소가 바다 물에 녹아 들어가 석회암을 만들고 대륙을 만들었다.
이산화탄소의 순환의 역사이다.
그 중의 일부가 생명현상을 만들었다.
그래서 우리 몸은 전적으로 이산화탄소이다.
그래서 생명현상은 기체이다. 이산화탄소에서 왔다.

포도당은 이산화탄소라는 구슬을 연결한 목걸이이다.
탄수화물은 이산화탄소의 덩어리다.
그래서 우리는 부패되고 분해되면 다 이산화탄소로 돌아간다.
수분만 빼면 다 이산화탄소로 날아간다.
왜냐면 이산화탄소는 탄소가 산소와 결합한 밴드가 강하기 때문에 그것을 끊기가 어렵기 때문이다.
세포 속 생화학 작용을 통해서 이산화탄소가 밴드가 끊어 진다.
TCA 회로는 카본 골격들이 들어가는 양상들이다.
특별한 과정 속에서 카본이 떨어져 나가는 모습이 보인다.

피하지 않고 1 달만 집중하면 뚫린다.
10 시간 고생할 것 인가. 10 년간 헛갈릴 것인가.
여러분의 선택이다.