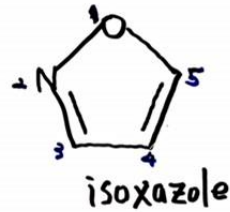


## 제12회 특별한 뇌 과학 4강 노트

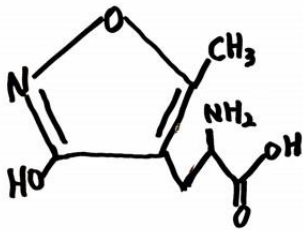
(박문호 박사님 강의를 요약 정리한 내용입니다)

분자 이름이  $\alpha$ -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionate 인 분자를 그려보자.

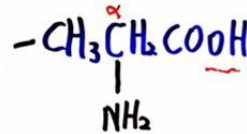
이름에 의미가 모두 있다.



$\alpha$ -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazole propionate



AMPA



탄소가 3개인 propionate에 isoxazole이 붙은 형태이다. 3번 탄소에 하이드록실기(OH), 5번 탄소에 메틸기(CH<sub>3</sub>)가 붙은 Isoxazole이,  $\alpha$ 탄소에 아민기(NH<sub>2</sub>)가 있는 propionate 4번에 붙은 분자이다. 이 분자의 이름이 AMPA이다. 유기화학에서  $\alpha$ 탄소는 작용기가 붙은 탄소 바로 다음에 있는 탄소를 말한다.

2010년 영국왕립협회(royal society)에서 19명의 과학자가 논문을 발표하였다. 19편의 논문을 요약하면 노화는 질병의 일종이라는 것이었다. 그때부터 전 인류적으로 노화에 대한 개념이 재 범주화되기 시작했다.

학문은 어느 정도 지나면 정의가 나온다. 그리고 분류가 시작된다.

분류가 시작되면 학문으로 자리잡게 되었음을 의미한다.

노화의 전형적 특징은 다음 9가지이다.

genomic instability

telomere attrition

epigenetic alteration

loss of proteostasis

deregulated nutrient sensing

mitochondrial dysfunction

Cellular Senescence

stem cell exhaustion

altered intercellular communication

- 1) Genomic instability: 게놈의 불안정
  - 2) Telomere attrition: 텔로미어의 소모
  - 3) Epigenetic alteration: 후성유전체의 변형
  - 4) Loss of proteostasis: 단백질 항상성 상실
- 위 4가지가 노화의 기반을 이루는 증후군 들이다.

- 5) Deregulated nutrient sensing: 세포들의 영양소에 대한 지각 및 반응 능력의 감소

2616 young

1664 old

mouse gene

rhythm

longevity 22

young mouse에서 생체 리듬을 처리하는 유전자가 2616개 활동하는데 반해, old mouse에는 1664개 만 활동하고 있었다. 젊음과 노화의 차이는 리듬의 차이이다. 노화는 리듬의 세기와 진폭이 약해진 것이다. 이 리듬에 유전자의 10%가 넘는 2000 여 개가 관여한다. 그에 반해 장수(longevity)에 직접 관여하는 유전자는 22개이다.

- 6) Mitochondria dysfunction: 미토콘드리아 기능 장애
- 7) Cellular senescence: 세포 노화
- 8) Stem cell exhaustion: 줄기세포의 고갈
- 9) Altered intercellular communication: 세포 간 통신의 변화

세포와 세포 사이의 소통이 변질이 되었다. 의견이 동조화 되지 못하고 분열되어 죽는다.

노화를 늦추기 위해서 20년의 준비가 필요하다. 단지 수명의 연장이 아니라 건강 수명을 늘려야 한다.

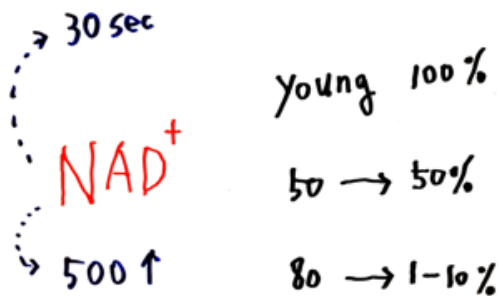
포획한 북극 고래 중에는 수정체에 들어 있는 아스파라트산 농도를 통해 측정한 나이가 211살 된 고래도 있었다. 그린랜드 상어는 방사성 탄소 연대를 측정하니 500살이 넘게 살았다는 추정치가 나왔다고 한다.

고래는 포유동물이다. 인간의 수명도 연장될 수 있다. 멀지 않은 시대에 120살까지 사는 사람을 어렵지 않게 볼 수 있을 것이다.

북극해는 환경 조건이 고정되어 있다. 한번 적응하면 리듬을 유지할 수 있다. 그리고 천적도 없고 먹이도 풍부하다. 그래서 오래 산다. 포유류인 인간도 고래와 같은 유전자를 갖고 있다. 환경만 제대로 유지하면 우리도 장수할 수 있다. 개념을 바꿔야 한다.

수명을 연장 시킬 수 있는 분자가 있었다.

이미 알고 있는 분자인데 다른 쪽만 보고 수명과 관련해서 보지 못했다.



이 분자의 이름이  $NAD^+$ 이다. 부작용이 거의 없다. 유년기 신체에 있는 이 분자의 양을 100%라고 하면, 50대에는 50%, 그리고 80대에는 1-10% 밖에 되지 않는다.

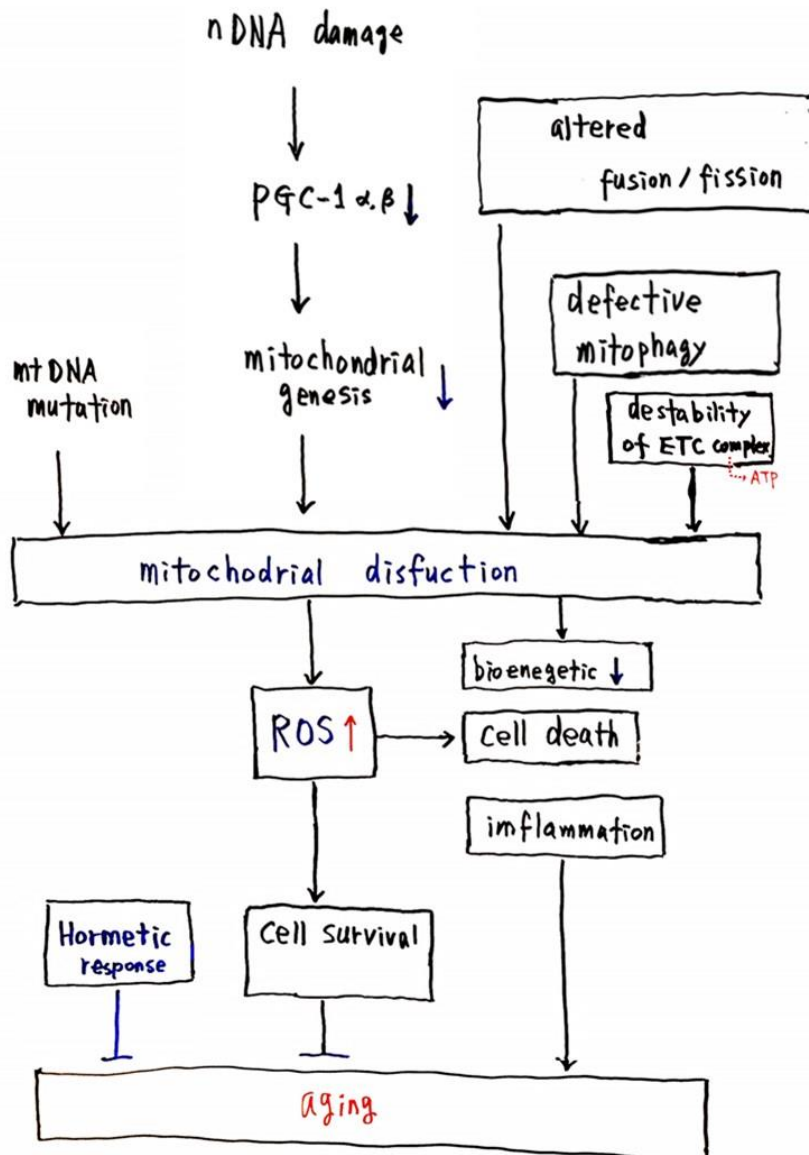
$NAD^+$ 는 많을수록 좋다.  $NAD^+$ 가 관여하는 효소가 500개가 넘는다.

인체 내의  $NAD^+$ 가 STOP하면 30초 이내에 즉사한다고 한다.

나이가 들면 송과체의 멜라토닌 생산 능력이 떨어져 잠이 줄어들어 든다. 가슴 샘도 퇴화하여 T세포를 만드는 능력이 줄어들어 면역력이 떨어지고 감기에 자주 걸린다.

노화는 거의 모두 Mitochondria와 연결되어 있다. 미토콘드리아의 TCA cycle에서 가장 많이 필요로 하는 물질이  $NAD^+$ 이다.

다음은 미토콘드리아와 노화의 관계이다.



핵 속의 DNA가 손상을 입으면 PGC-1 $\alpha$ ,  $\beta$  단백질의 생성이 줄어든다.

PGC: Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator

PGC-1 $\alpha$ ,  $\beta$ 이 줄어들면 미토콘드리아 생성이 줄어 든다. 미토콘드리아 생성이 줄어들면 미토콘드리아 기능 장애가 발생한다.

또한 미토콘드리아의 합성과 분열 루틴의 변화, Mitophagy의 결함, 전자전달 복합체의 불안정, mtDNA의 돌연변이도 미토콘드리아 기능 장애를 유발한다. 미토콘드리아 기능장애로 에너지 생산(bioenergetics)이 줄어들고, 염증(inflammation)이 증가한다. 염증은 노화를 촉진시킨다.

미토콘드리아 기능 장애는 활성 산소(ROS: reactive oxygen species)를 방출하고, ROS의 증가는 세포를 죽게 만든다(cell death). 이러한 과정이 모두 모여 노화(aging)가 일어난다. 운동 등으로 인한 적당한 활성산소의 생성은 세포가 생존을 위한 노력(cell survival)을 통해 노화를 방지하는 역할을 한다. 운동을 하면 물론 ROS가 생성 되지만, ROS 중화를 위한 SOD가 만들어 지는데, SOD의 효과가 더 지속적이어서 신체에 도움이 된다.

노화에 특효약은 Hormetic response이다. 브레인이 의지를 갖고 신체에 부과해야 한다. 추운 날 일부러 눈 속에서 추위에 노출 시킨다든지, 찬 바다에서 수영을 한다든지 또는 가파른 산을 오르는 등 신체를 힘들게 하여 적응 능력을 키우는 것이다. 운동의 강도를 점차적으로 조금씩 높이는 것이 좋다.

현재의 느낌 태도가 자녀들을 바꿀 수 있다. 유전자 발현 확률을 바꿀 수 있다.

이 도표가 미토콘드리아 기능 장애가 노화와 어떻게 연결되어 있는지를 보여준다.

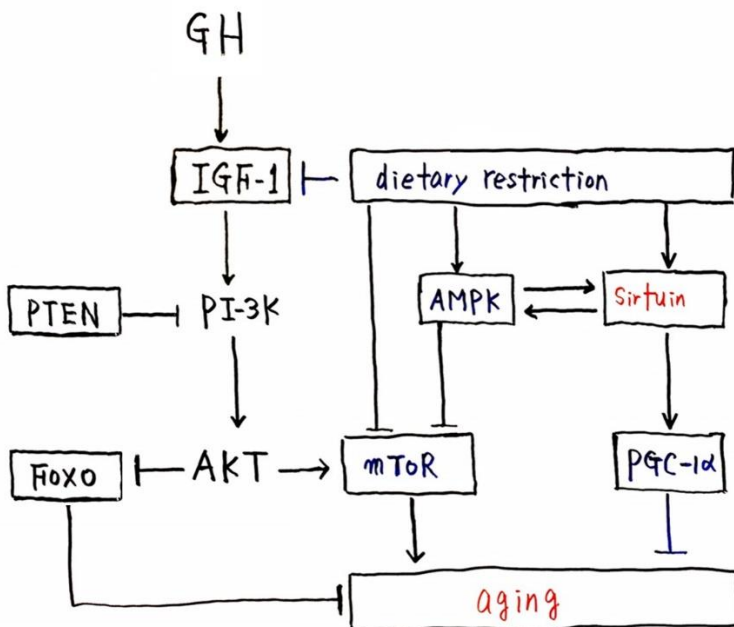
장수와 관련한 단백질 12개의 관계를 보여 주는 도표이다.(01:37)

세포는 GO와 STOP 2가지 상태를 반복한다.

GO 상태에서는 증식(reproduction)을 하고, STOP 상황에서는 수선(repair)을 한다.

젊었을 때는 이 2가지 모드의 스위칭이 원활하지만, 늙으면 스위칭의 속도가 느려지고 에러가 생긴다.

그래서 2000개가 넘는 유전자가 이 리듬을 조절하는 것이다. 노화는 리듬이 서서히 붕괴되는 과정이다.



성장 호르몬이 IFG-1을 활성화 하고, IFG-1은 PI3K를 활성화 한다. PI3K는 AKT를 활성화 한다. AKT는 PKB이다.

IFG-1을 억제하는 것이 dietary restriction(DR)이다. 섭취 칼로리를 줄이는 것이다.

AKT는 mTOR를 활성화하여 노화를 촉진 시킨다. 한편으로 AKT는 FOXO단백질을 억제하고 FOXO는 노화를 억제 한다. PTEN은 PI3K를 억제한다.

DR은 mTOR를 억제하여 노화를 늦춘다. 또한 DR은 AMPK를 활성화하고 AMPK가 mMTOR를 억제하여 노화를 늦춘다. DR은 sirtuin을 활성화 하면 sirtuin이 PGC-1α를 활성화하고, PGC-1α가 노화를 늦추는 역할을 한다. AMPK 와 sirtuin은 상호 활성화 한다. PGC-1α는 미토콘드리아의 TCA cycle 전체 rate를 조절하는 master regulator 역할을 한다.

<노화의 종말> 저자가 책을 쓴 이유는 sirtuin이라는 분자를 세계에 알리고 싶어서였다. 효모에서 발견한 분자인 데, 포유류에서도 7가지가 발견되었다.

sirtuin은 혼자서 작동할 수 없다. 반드시  $NAD^+$ 가 있어야 작동한다. Sirtuin이 아세틸 등을 자르는 가위라면  $NAD^+$ 는 잘라낸 것을 담는 바구니 역할을 한다.

$NAD^+$ 는 1906년에 처음으로 발견 되었고 TCA 회로가 발견됨에 따라 모든 생물학자가 알게 된 분자이다. 그러나 많은 사람들은 TCA cycle 안에 있는  $NAD^+$  만 알고 있었다.  $NAD^+$ 가 인체 내 500개가 넘는 효소에 관여하고 있다는 것을 요 근래에 와서 알게 된 것이다. 장수학이란 학문의 문을  $NAD^+$ 가 열어 주었다. Sirtuin과  $NAD^+$ 가 어떻게 상호작용하는지 알면, 우리가 왜 늙는지 이해할 수 있게 된다.

개념을 바꾸어야 한다.

노화는 질병이다. 치유할 수 있다.

같은 포유류인 고래가 200살을 살면 우리도 그 만큼 살 수 있다. 늙어도 다시 젊어 질 수 있다.

다만 확률이 매우 낮다는 것은 알아야 한다.

연구자들의 목표는 건강 수명을 늘리는 것이다. 미국에서도 건강 수명은 정체되고 있다.

지난 10년간 우리사회의 변화는 강아지를 많이 기르는 것과 시골에 요양병원이 늘어나는 것이다.

“사라지는 것은 초등학교요, 생기는 것은 요양병원이다.”

(용어 정리)

GH: growth hormone

IGF-1: Insulin like growth factor 1

PTEN: Phosphatase and tensin homolog

PI3K: phosphatidylinositol 3-kinases

AMPK: 5' AMP-activated protein kinase

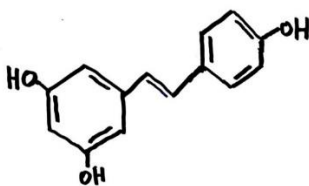
Sirtuin

FOXO3: Forkhead box O3

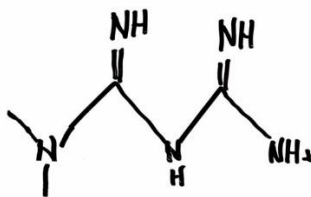
AKT: Protein kinase B (PKB)

mTOR: mammalian target of rapamycin

PGC-1 $\alpha$ : Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha



ResVeratrol



metformin

Resveratrol은 포도주에 있는 성분이다. 분자식을 보면 이중결합이 끊어지지 않고 돌고 있다.

Metformin은 프랑스의 야생 꽃에서 추출한 성분으로 만든 당뇨병 치료제 이다.

이 두 물질이 노화 억제에 효과가 높은 것으로 알려져 있다.

중요한 물질은 분자식을 암기하기 바란다. Core를 알고 나면 공부가 끝난다.

미국에서 수 천명을 조사하여, 건강에 영향을 끼치는 요인 3가지를 추출했었다.

세 번째가 운동, 두 번째는 건강한 음식, 제일 중요한 것이 건강에 대한 개념이었다.

건강에 대한 개념을 갖고 있는 사람은 앞의 2가지를 찾아서 실행할 수 있지만, 개념이 없는 사람은 지속할 수 없어 실패한다는 것이다. 개념을 바꾸면 우리는 답을 찾게 되지만, 반대는 아니다.

(2교시)

NAD<sup>+</sup>의 역할 9가지 이다.

NAD<sup>+</sup> : chromatin regulation

energy production : ATP

telomere longer : telomerase  
activation

neurotransmitter

DNA repair : PARP-1

longevity : sirtuin

immune-cell communication

energy-enzyme activation

1)chromatin regulation: 염색체 크로마틴의 조절

2)energy production: NADH를 합성하여 ATP 생산에 관여

3)telomere longer: telomerase 활성화를 통해 텔로미어를 길게 만들어 준다.

4)neurotransmitter: 신경전달물질 동작에 관여한다.

5)DNA repair: PARP-1 활성화를 통해 DNA를 수선한다.

PARP-1: Poly [ADP-ribose] polymerase 1

6)longevity: sirtuin과 함께 수명 연장에 관여 한다.

7)immune-cell communication: 면역 세포와 통신

8)energy-enzyme activation: 에너지 조효소 활성화

DNA 진화는 35억년의 역사이다.

효모는 25회 정도 분열하고 사람의 체세포는 40-50회 정도 분열한다. 노화 세포는 분열을 멈춘 세포이다.

DNA의 약 40%가 바이러스가 심어준 retro transposon이다.

Sirtuin은 이 retro transposon에 있는 DNA가 발현하지 못하도록 묶어 놓는 역할을 한다.

Sirtuin이 이 역할을 할 때는 NAD<sup>+</sup>의 도움이 필요하다. 그런데 나이가 들면 세포 내 NAD<sup>+</sup>가 90%까지 줄어든다.

$NAD^+$ 가 줄어들게 되면 sirtuin이 제대로 활동을 할 수가 없어 retro transposon에 있는 유전자를 묶어 놓지 못한다. 그러면 virus DNA가 발현하여 virus RNA를 만들고 이 virus RNA를 통해 virus DNA를 만든다. 이 virus DNA를 정상 DNA 영역에 심어 놓는다.

이 과정에 세포질 속에도 많은 virus DNA가 있게 되고, 그것을 감염으로 인식하여 면역 세포가 공격하면 염증이 발생한다. 이것을 내생적 바이러스라 한다. 외부 침입한 바이러스가 아니라 내부에서 생긴 바이러스인 것이다.

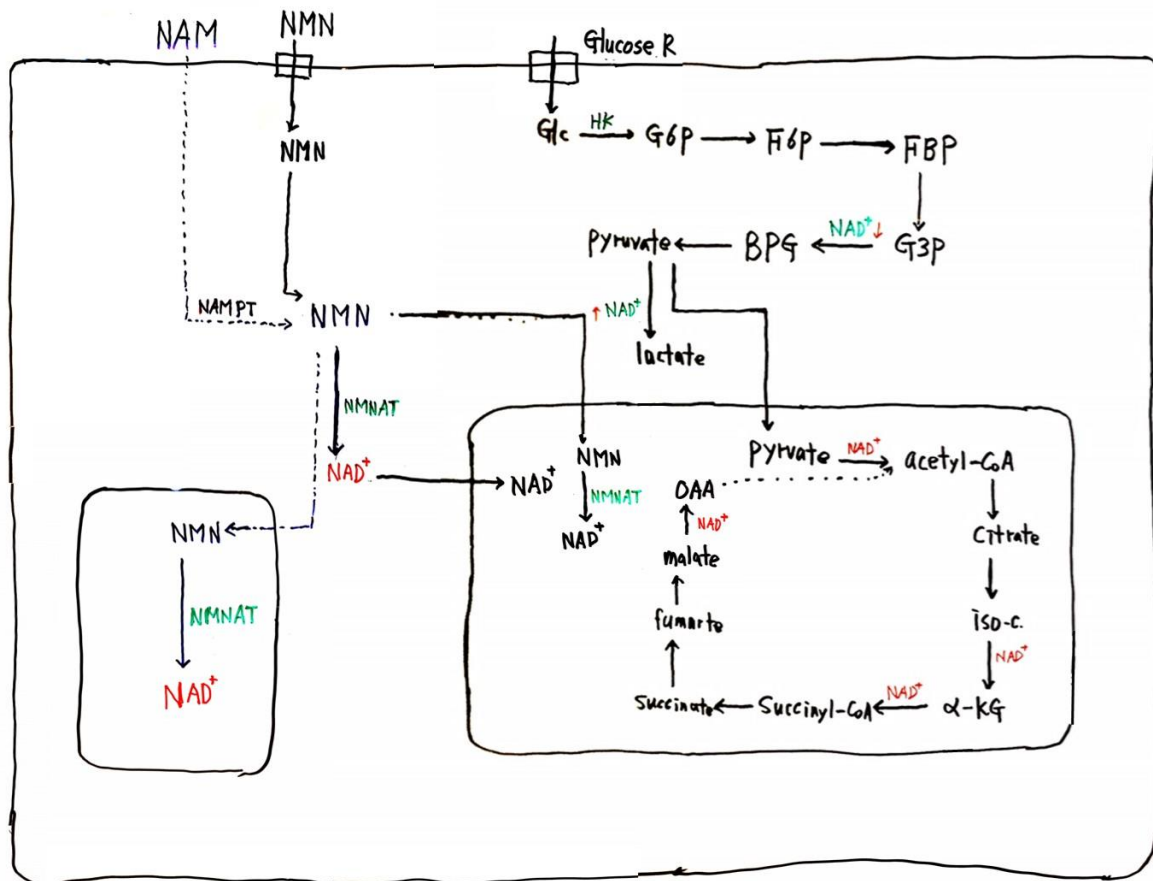
그래서 늙으면 피할 수 없는 것이 염증이다. 요즘에는 염증노화(inflammaging)라는 용어도 생겼다.

염증노화는 생물학적 노화 과정을 가속화하고 많은 노화 관련 질병을 악화시키는 것으로 알려져 있다.

그래서 노화 예방과 치료를 위해서는 세포 속에  $NAD^+$ 를 많이 넣어 주어야 한다.

세포는 GO와 STOP의 리듬을 잘 유지해야 한다. STOP해야 할 상황에 GO를 하면 문제가 심각해 진다.

세포 내에서  $NAD^+$ 가 사용되는 프로세스이다.



NAM이 세포질 안으로 확산되어 들어 온다. NAM이 NAMPT 효소의 작용에 의해 NMN으로 바뀐다.

그리고 이온 채널을 통해서도 NMN이 세포질 속으로 들어 온다.

세포질 속의 NMN은 3가지 길로 간다.

첫 번째 길은 핵 속으로 간다. 핵 속에서 NMN은 NMNAT효소의 작용에 의해  $NAD^+$ 로 바뀐다.

두 번째 길은 세포 질 속에서 NMN은 NMNAT효소에 의해  $NAD^+$ 로 바뀌고 그  $NAD^+$ 가 미토콘드리아 속으로 들



어 간다.

세 번째 길은 NMN이 미토콘드리아 속으로 들어 가서 NMNAT효소에 의해  $NAD^+$ 로 바뀐다.

NMN이 핵, 세포질, 미토콘드리아에서  $NAD^+$ 로 바뀌는 것이다.

세포 속 ATP: ADP: AMP의 비율은 100: 10: 1 이다. 이 비율은 항상 유지되어야 한다.

$NAD^+$ : NADH의 비율은 1000:1이다.  $NAD^+$ 의 비율이 월등히 높다.

$NAD^+$ 가 NADH보다 많은 상태가 배고픈 상태이다. 배고프고 목 마른 사람은 우물을 판다.

스티브잡스가 스탠포드 대학 졸업식에서 했던 유명한 말이 "Be foolish" 였다.

젊은이들이여! 너무 따지지 말고 빨리 행동하고, 갈등을 느끼고 몸부림 쳐 보라는 이야기이다.

계산하지 말고 우직하게 돌진하면 열린다는 이야기이다. 눈 앞에 보이는 이익을 쫓지 말고 먼 곳에 투자하라는 것이다.

$NAD^+$ 는 산화제이다. 다른 물질을 산화시켜 에너지가 나오게 한다.  $NAD^+$ 는 불씨이다. 연료가 있어도 불씨가 없으면 불을 피울 수 없다. TCA 회로에서 포도당이  $NAD^+$ 에 의해 산화될 때  $NAD^+$ 는 환원되어 NADH가 된다.

NADH에 의해서 ATP가 만들어 진다. 그래서 NADH가 많으면 배가 부른다.

$NAD^+$ 가 많다는 것은 아직 NADH를 더 만들어야 하는 상황이므로 배가 고픈 상태이다. 연료가 모자라는 상태이기도 하다. 배가 고픈 사람은 행동하게 된다.

Glucose Receptor를 통해 세포질 속으로 Glc(glucose)가 들어와서 해당 과정을 거친다.

$Glc \rightarrow G6P \rightarrow F6P \rightarrow FBP \rightarrow G3P \rightarrow BPG \rightarrow 3PG \rightarrow 2PG \rightarrow PEP \rightarrow Pyruvate$ 가 된다.

이 중 G3P에서 BPG가 되는 과정에  $NAD^+$ 가 사용되고 NADH가 나온다.

Pyruvate는 미토콘드리아로 들어가  $Acetyl-CoA \rightarrow citrate \rightarrow isocitrate \rightarrow \alpha KG \rightarrow succinyl-CoA \rightarrow succinate \rightarrow fumarate \rightarrow malate \rightarrow OAA$ 로 바뀐다.

이 과정에 4분자의  $NAD^+$ 가 들어가서 4분자의 NADH가 만들어 진다. 포도당이 분해되기 위해서는  $NAD^+$  농도를 일정하게 유지해 주어야 한다. 그런데 노화로 인해서  $NAD^+$  농도가 줄어들면 에너지 생산이 줄어들어 문제가 생기는 것이다.

또한 pyruvate는 세포질 속에서 lactate가 된다.

이 과정에서는 NADH가 들어가  $NAD^+$ 가 만들어 진다. 세포 질 내에서  $NAD^+$ 와 NADH의 균형을 유지하게 하는 중요한 process이다. 해당과정이 계속 될 수 있게  $NAD^+$ 를 만들어 주는 것이다.

Calorie restriction(CR)으로 인해 음식물이 적게 들어 가면  $NAD^+$  사용량이 줄어든다.

나이가 들면 세포 내  $NAD^+$ 가 줄어 들므로 CR을 통해서  $NAD^+$  사용량도 줄여야 하는 것이다.

(용어)

NR: Nicotinamide riboside

NAM: Nicotinamide(=vitamin B3)

NAMPT: Nicotinamide phosphoribosyl transferase

NMN: Nicotinamide mononucleotide

NMNAT: Nicotinamide mononucleotide adenylyl transferase

시냅스가 기억 그 자체는 아니다.

기억은 Value system, 세계(감각) 입력, brain 구조, synapse 변화 이 4가지의 동적 상호작용이다.

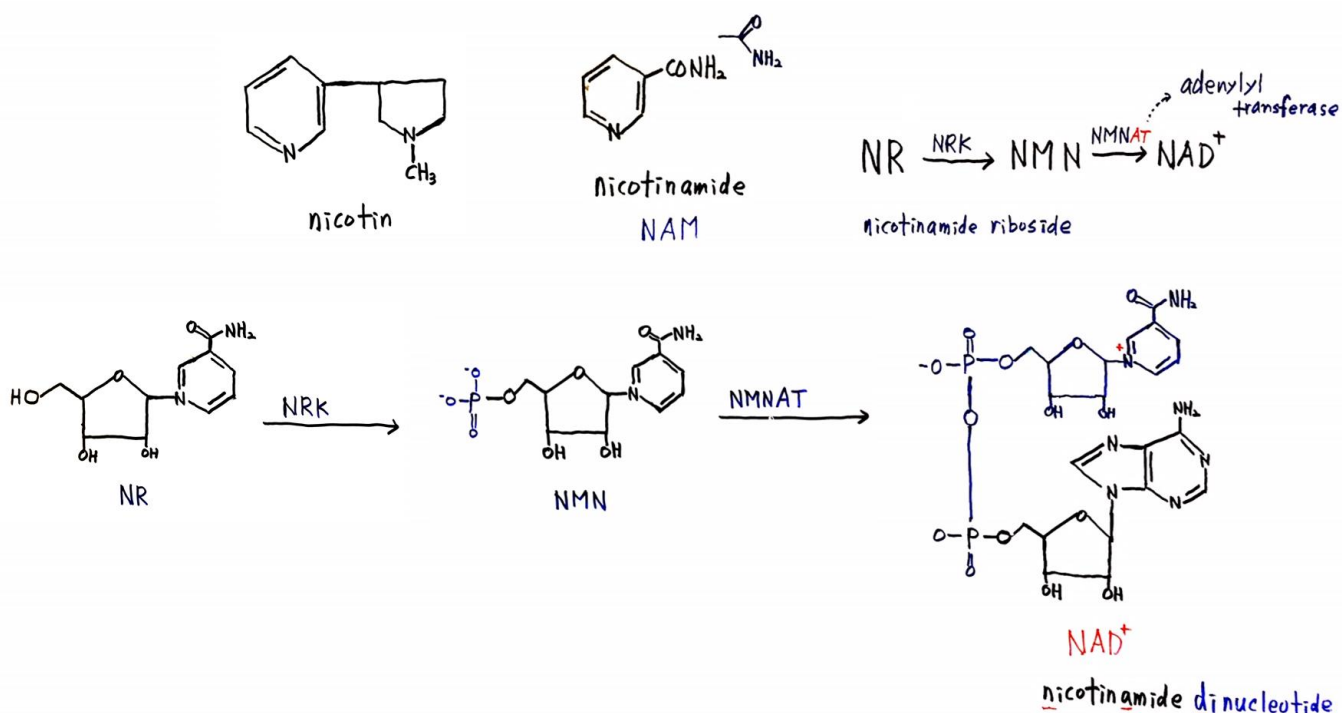
이 동적 상호 작용을 통해서 우리는 끊임 없이 세계를 재 범주화한다. 지각은 거의 모든 과정이 창조적이다.

문자기억은 표상기억이다. 전체 기억의 극히 일부이다. 느낌, 감정, 불안 같은 것은 비 표상 기억이다.

기억은 constructive recategorization 과정이다.

이번 12회 특별한 뇌 과학 강의를 통해서 분자 수준과 개념의 공간을 링크해 보고 싶다.

NAD<sup>+</sup> 분자로 가는 길의 시작은 니코틴 분자이다.



NAM은 nicotinamide 이다. 일산화탄소에 아민기가 붙어 있다.

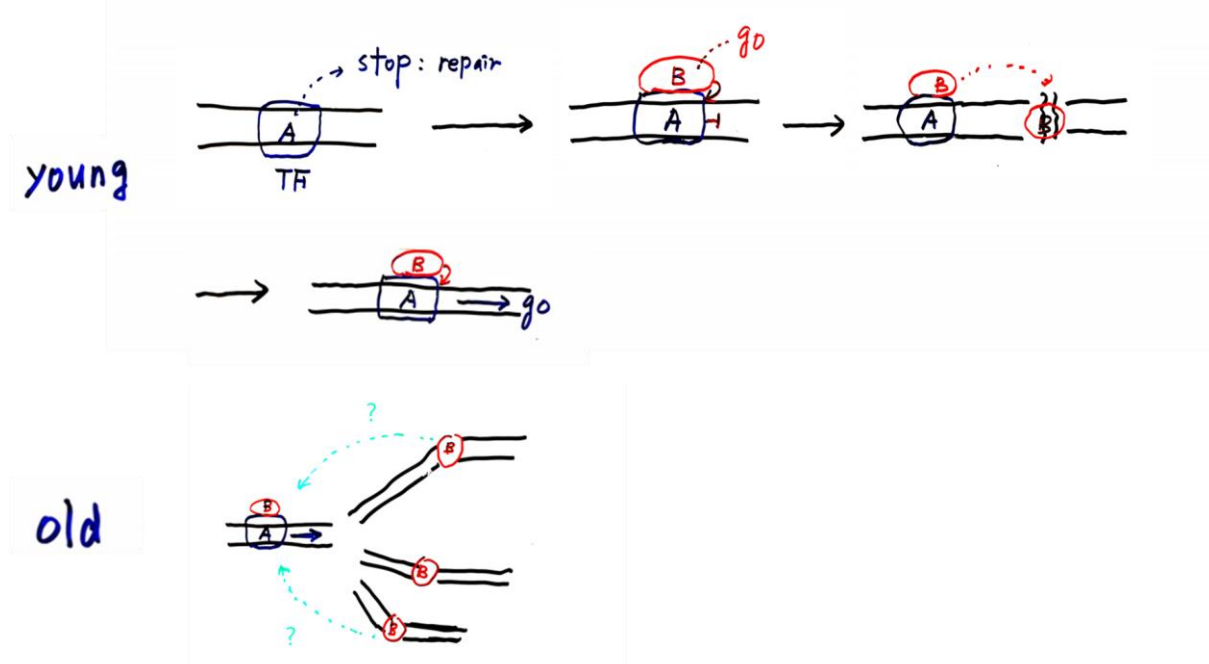
NR이 NRK에 의해 NMN이 되고, NMN이 MNM이 NMNAT에 의해 NAD<sup>+</sup>가 된다.

NAD<sup>+</sup>에는 nucleotide가 2개가 있다.

문제는 NAD<sup>+</sup>를 세포 속으로 직접 넣을 수 없다는 것이다. 그래서 전구물질인 NR과 NMN을 투여하는데 이들이 NAD<sup>+</sup>로 바뀌는 것은 개인별로 차이가 있다고 한다.

와딩턴의 랜드스케이프(Waddington landscape)

인체는 1개의 수정란에서 70조개 세포로 분화한다. 높은 산에서 시작하여 중간 산을 거쳐 낮은 산 그리고 평지에 이른다. 처음에는 골짜기가 깊어서 안정적이었으나 점점 평지로 감에 따라 작은 요동에 의해서도 자신의 위치를 벗어 날 수 있다.



지구 초기 생명체는 주변 환경이 너무 열악하여 가능한 한 증식을 삼가고 유지와 수선에 주력했다.

처음 생긴 TF(전사조절인자) A는 STOP이 주 임무였다. 그러다 환경이 좀 나아져서 증식이 필요할 경우 또 다른 TF B가 나와서 탈 억제를 하였다. 억제가 기본이고, 그것을 탈 억제하는 것이 모든 생명체의 메커니즘이다.

B는 DNA에 손상이 생기면 가서 수선을 하고 돌아 와서는 탈 억제를 통해 증식을 하였다. GO와 STOP을 반복하는 것이다. 젊었을 때는 이 과정이 원활하게 유지된다.

그런데 DNA가 손상 되는 곳이 여러 군데 발생하여 수선하러 갔다가 자기 자리로 돌아 오지 못하는 경우가 생기고 말았다. 이것이 Genomic instability의 원인이 된다. 젊었을 경우에는 증식(GO)과 수리(STOP)의 장소, 순서 그리고 타이밍을 잘 통제하지만, 이 통제에 문제가 생기는 현상이 노화이다.

노화는 GO-STOP의 리듬이 무너지는 것이다. 리듬이 무너지면 죽게 된다.

다음에 있을 4번의 강의에서는 추상세계와 분자의 세계의 다리를 놓고자 한다. 추상세계는 개념훈련이 필요하고, 분자세계는 분자 구조에 대한 훈련이 필요하다. 분자세계에서 추상세계로 가는 중간 단계가 언어이다. 언어에서 고차의식이 출현한다.

범주화에는 지각 범주화와 개념범주화가 있다. 개념 범주화는 가치범주기억과 연관되어 있다. 이 개념을 분자 수준에서 이해해야 한다. 분자 세계가 언어로 어떻게 매핑 되는지 알아야 한다. 언어로 매핑 되고 나면 흔적이 없어진다. 여기서부터 가상 세계이다.

지각은 개념을 넘어설 수 없다. 그래서 범주화를 한다. 우리는 창문을 통해 세상을 보는데 이 창문이 개념인 것이다. 창문이 없으면 세상은 없고, 내부 시스템만 존재한다. 두 개체 사이의 커뮤니케이션은 창문을 통해 상징을 주고 받는다. 그 상징이 그것이 언어이다.

고차의식부터 시간의식이 출현한다. 시간의식에서 순서가 나온다. 1차의식은 스냅사진이다. 시간이 흐르지 않는다. 자연과 링크되어 있다. 인류는 언어의 출현으로 시간이라는 독재자로부터 자유를 얻게 된다.

$3+4=7$ , 미적분 방정식 등은 논리체계이다. 언어를 동반한 인과율이 논리체계를 만들었다. 문화가 만들어 낸 것이다. 브레인 속에는 이런 것을 계산하는 구조는 없다. 브레인 속에는 언어를 만드는 구조는 없다. 에델만의 주장이다. 그래서 시냅스는 기억이 아니다. 브레인 구조도 기억이 아니다.

감각 입력, 가치 시스템, 브레인 구조, 시냅스(브레인 구조 사이의 변화) 이 네 가지가 상호 연결되어, 전체가 동적으로 바뀌는 과정이 기억이다. 범주화와 개념이 형성된다. 개념은 구성적으로 재범주화 된다.

분자 수준에서는 가역적이다. 거시 세계는 비 가역적이다. 어느 순간부터 비 가역적이 되었는지 알고 싶다.

분자 수준에서는 가역적이므로, 우리는 젊어질 수 있다.

<노화의 종말>에서 든 예를 보면 4700년 된 강털소나무와 23년 된 강털소나무를 조사한 결과 늙은 나무와 젊은 나무의 화학물질 운반 체계, 싹 생장률, 꽃가루의 질, 씨의 크기, 씨의 발아 양상에 의미 있는 차이가 없었다. 늙음의 흔적이 없는 것이다. 세포 수준에서는 늙지 않는다.

건강은 다 변수 함수이므로 복합적이다.

우리의 과거에 우리의 미래가 달려 있다.

운동, 체중, 스트레스, 나이 등을 매일 지속적으로 기록하며 모니터링 해야 한다.

각각의 상호 관계를 검토해야 한다. 확고한 데이터에 의거하여 관리해야 한다.

세계적 석학들이 50-60년동안 치밀하게 연구한 데이터를 따라가야 한다.

우리는 먼저 개념을 바꿔야 한다. 노화는 질병의 일종이다.

수고하셨습니다.