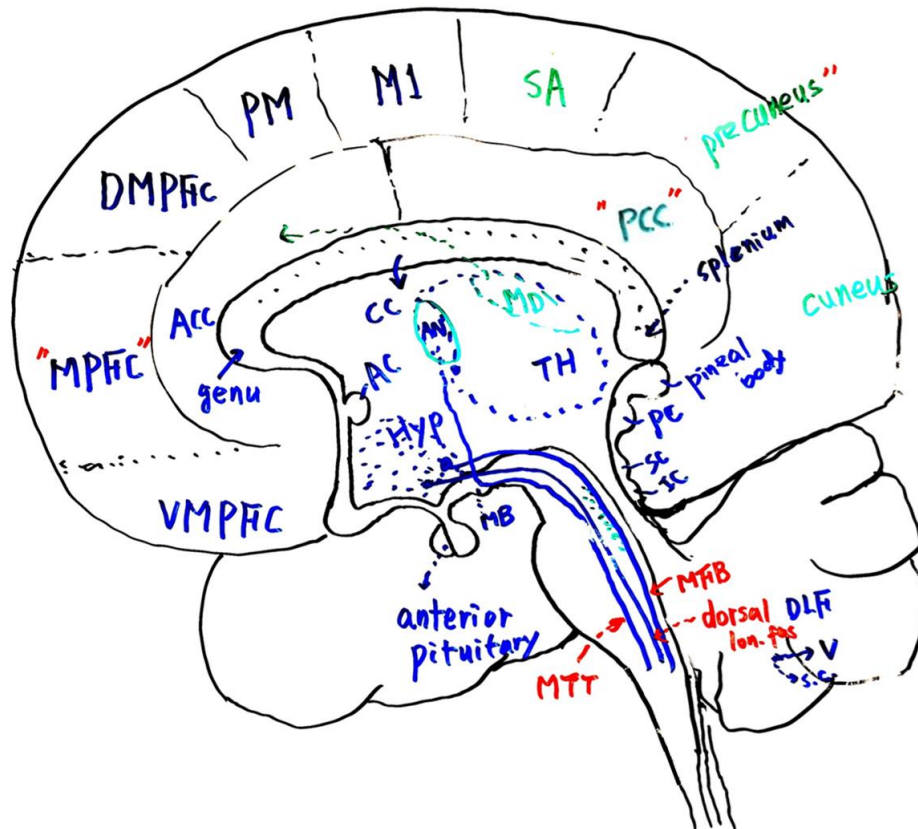


## 제 11 회 특별한 뇌과학 1 강 노트

(박문호 박사님 강의를 요약 정리한 내용입니다)

브레인 구조를 먼저 그리겠다. 구조를 알아야 이론을 전개할 수 있다.



뇌 공부에서 기본적으로 그리는 그림이다.

전 교련(AC: anterior commissure) 그린다. Commissure 는 좌뇌와 우뇌를 연결하는 신경 다발이다.

뇌하수체 후엽 그리고 전엽을 그린다. 뇌하수체는 전엽과 후엽이 발생학적으로 기원이 다르다.

전엽은 샘 세포들이다. 후엽은 신경 섬유 다발이 대부분이다. 어류, 양서류, 파충류는 시상하부가 굉장히 크다.

시상하부 위 부분이 궁상핵(arcuate nucleus)이 있는 곳이다.

그리고 유두체(MB: mammary body)를 그리고 이어서 수직으로 내려온 후 볼록하게 그린다.

다음은 뇌량(corpus callosum)을 그린다. 뇌량은 좌뇌와 우뇌를 연결하는 2 억개의 신경다발이다.

Corpus callosum 은 genu, body, splenium 으로 이루어져 있다. Splenium 은 여자가 남자보다 크다.

해부학 용어는 한자, 한글, 영어 모두 알아야 한다.

이어서 송과체(pineal body)와 후 교련(PC: posterior commissure)을 그린다. 전 교련과 후 교련의 높이를 같게 한다.

송과체는 수면조절 호르몬인 멜라토닌을 만든다. 나이가 들면 멜라토닌이 줄어든다. 그래서 잠이 줄어든다.

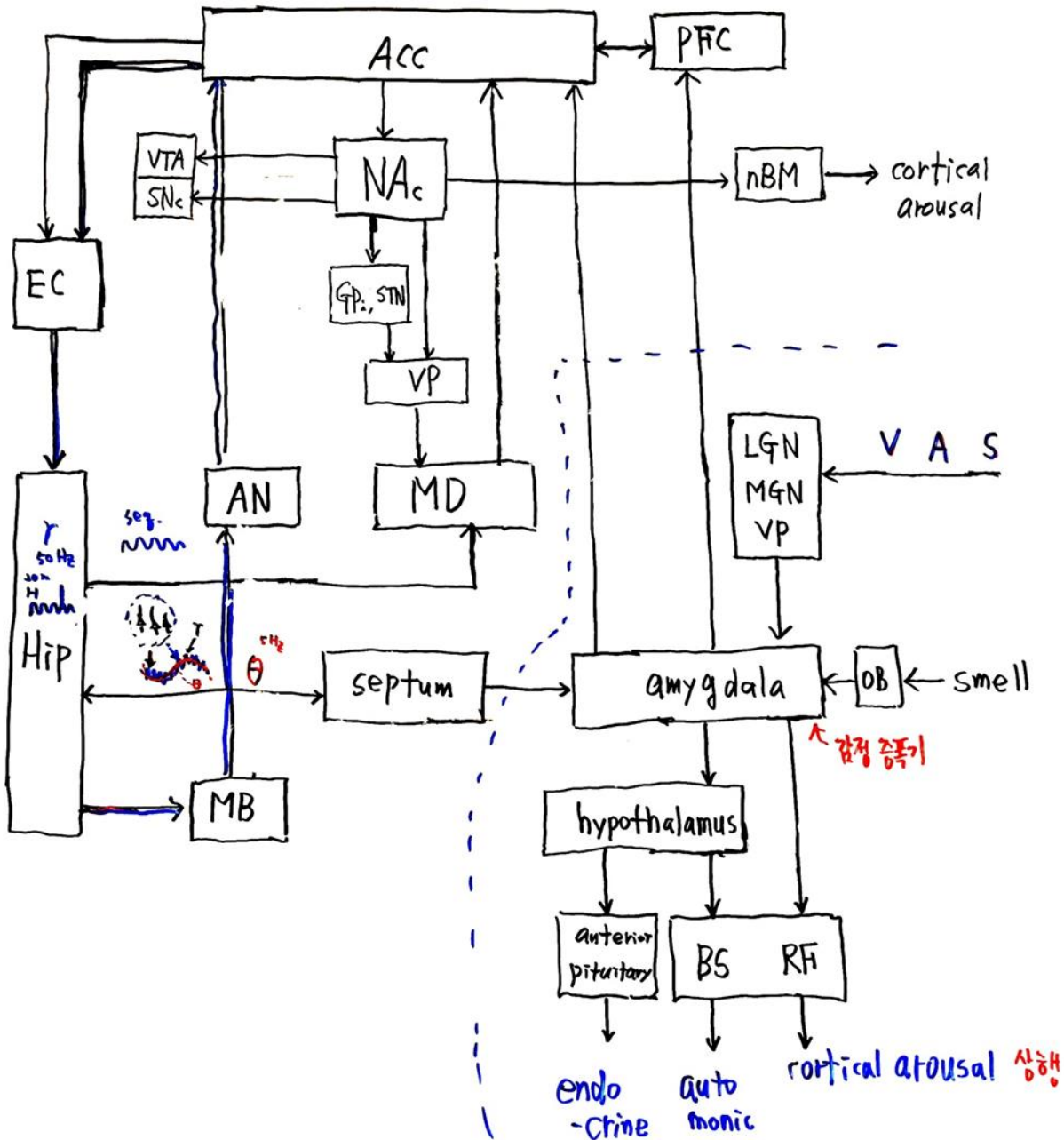
일사량에도 영향을 받는다. 일사량이 줄어드는 가을에 남자들이 로맨틱해진다.

이어 상구(SC: superior colliculus) 하구(IC: inferior colliculus)를 그린다. 상구는 반사적 시각운동을 담당하고, 하구는 청각을 매개해주는 신경 핵이다. 하구는 중뇌를 벗어나면 안 된다.

대상회(Cingulate gyrus) 그리고 다음에 대뇌 피질을 그린다. 소뇌는 tectum(상구, 하구 부위)의 겹질이 크게 부풀려 올랐다고 생각하고 5개 정도의 엽을 그린다. 측두엽은 교뇌 아래 부분까지 덮는다.

브레인 공부할 때 가장 연습을 많이 해야 할 그림이다. 최소 10번 이상은 그려야 한다.

30번은 그려야 제대로 앉혀지고 느낌이 붙는다. 브레인 공부의 90%는 브레인 구조를 그리는 것이다.



그러면 행동의 과정을 살펴 보도록 하자. 이 도표를 완전히 이해하면 뇌 과학의 웬만한 것은 이해할 수 있다.

북한산에 갔다가 멧돼지를 만났다고 가정해 보자

멧돼지를 본 감각 (시각: Visual, 청각: Audio, 촉각: Somatic)은 sensory thalamus(LGN, MGN, VP)로 입력된다.

sensory thalamus에서 amygdala로 간다.

냄새는 thalamus(시상)을 거치지 않는다. OB(olfactory bulb)를 통해 amygdala(편도체)로 직접 간다.

냄새는 즉각적이다. 냄새는 감정을 촉발한다.

amygdala에 간 정보는 바로 BS(brain stem)으로 간다. BS는 뇌간이다. 뇌간에는 RF(reticular formation)이 있다.

RF는 상행 의식, 하행 운동을 조절한다. RF에는 도파민, 세로토닌, 노르에피네프린, 아세틸콜린을 분비하는 신경핵들이 모여 있다. RF에서 분비한 신경조절물질에 의해 피질 각성(cortical arousal)이 된다.

깨어 있는 것은 공짜가 아니다. 많은 에너지가 든다.

시상하부에서 BS와 RF쪽으로 내려가는 신경 다발이 3개 있다.

MFB(medial forebrain bundle), DLF(dorsal longitudinal fasciculus), MTT(**mammillo-tegmental tract**)이다.

DLF는 10번 미주신경 등쪽 핵과 spinal cord로 간다.

BS에 의해서 자율신경 반응(autonomic response)이 일어난다. cortical arousal은 머리가 쭈뼛해 지고 등골에 식은 땀이 난다. Autonomic response는 일단 도망치는 것이다.

브레인 은 dual system으로 구성되어 있다.

또 한 라인으로는 편도체에서 곧장 시상하부(hypothalamus)로 간다.

hypothalamus에서는 브레인 스템 RF(brain stem RF)와 뇌하수체 전엽(anterior pituitary)으로 간다.

뇌하수체 전엽에서는 호르몬 반응(endocrine response)이 일어난다. 가슴이 벌떡거리고 숨이 찬다.

이상이 놀란 장면을 보았을 때 일어나는 반응이다. 반사이다. 동물이 어떻게 행동하는지 그대로 보여 준다. 인간에게도 당연히 나타나고 동물은 전적으로 이 시스템이다.

동물은 위험을 피하고 나면 잊어버린다. 인간은 위험을 피하고 난 후 많은 프로세스가 진행된다.

인간은 위급한 보고가 끝나면 정확한 상황 판단을 위해 편도체에서 대뇌 피질로 보고한다.

먼저 PFC로 보고한다.

편도체는 피질 일부가 떨어져 나와 백질 속에 섬처럼 있는 것이다. 조직 형질적으로 PFC와 비슷하다.

그래서 편도체에서 PFC로 직접 보고 할 수 있다.

다음으로는 전 대상회(ACC: anterior cingulate cortex)로 보고한다. PFC와 ACC는 다중으로 연결되어 있다.

PFC는 brain of brain이다. CEO와 같다. 스스로는 일하지 않고 직원(기억)들을 부려서 일한다.

PFC는 기억을 담당하는 감각연합피질의 활성도를 조절한다.

PFC와 ACC에 온 정보는 EC(entorhinal cortex: 내 후각 뇌 피질)로 간다.

EC에서 해마(Hip: Hippocampus)로 간다. 해마에서 MD(dorsomedial nucleus of **thalamus**: 등쪽 내측핵)로 가고

MD에서 다시 ACC로 보낸다. ACC에서 NAc(nucleus accumbens: 측좌핵)로 보낸다. NAc는 쾌감의 중추이다.

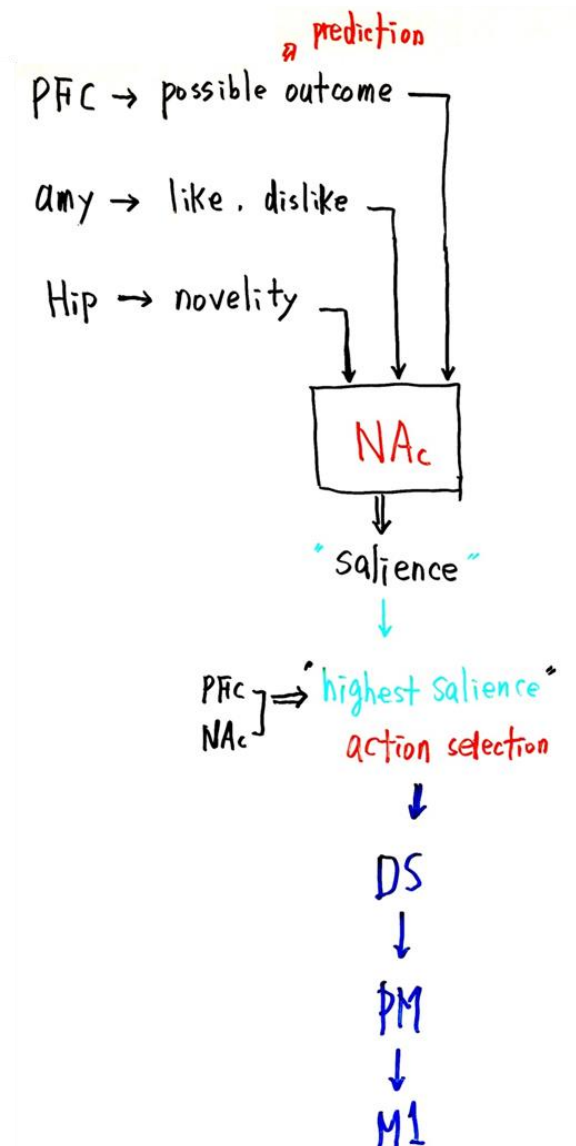
한편으로 VS(ventral straitum)이라 한다. 대칭으로 Putman과 조가비핵을 DS(dorsal straitum)이라 한다.

NAc가 salience를 만든다. Salience는 중요함이다.

우리는 무엇을 하는가? 중요한 것을 한다. 중요하기 때문에 일요일에 여기에 와서 자연과학 공부를 하고 있다.

그 중요함을 salience라고 한다. 어린이는 쾌감(달거나 재미있는 것)이 중요하다. 어린이는 approach 밖에 못한다. 성인은 의미가 중요해 진다. 의미가 중요하기 때문에 힘들고 싫어도 한다. 중요함이 나이에 따라 변한다.

브레인이 하는 가장 중요한 기능 3개



PFC는 possible outcome을 예측(prediction)을 한다. 성인은 중요하다고 모두 하지 않는다.

실현 가능하다고 생각해야 한다.

편도체(amygdala)는 like, dislike를 정한다. 좋은지 나쁜지를 정한다.

Hippocampus는 새로움(novelty)에 반응한다. 새로움은 포유동물 전체를 관통하는 중요한 기제이다.

인류는 초기부터 세계 전 대륙으로 확산되어 새로운 환경으로 들어 갔다. 먹이를 찾아서 간 것이다.

인류가 지구의 주인이 된 것은 새로운 환경에 모험을 해서 들어갔기 때문이다.

그 새로움을 추구하는 것이 해마가 하는 일이다. 기억이 있기 때문에 새로움을 추구할 수 있다.

이 세 가지 정보를 합치는 곳이 NAc이다. NAc가 salience를 만든다.

중요한 것도 여러 가지가 있다. 행동하는 시점에서는 가장 중요한 것 하나를 선택해야 한다.  
NAc와 PFC가 합작하여 highest salience를 선택한다. 이 과정을 행동선택(action selection)이라고 한다.  
행동이 선택되면 DS-PM-M1을 통해 행동하게 된다.  
인간은 "좋고, 새롭고, 가능한 것"을 행동한다.

NAc에서는 VP(ventral pallidum)로 보내고 VP에서 SNr과 GPi를 거쳐 다시 MD로 보낸다.  
간접회로로서 NAc→ GPe/STN→ SNr, GPi를 통해 MD로도 간다.  
이것이 감정회로(Limbic loop)이다. 놀란 가슴이 식을 때까지 계속 이 loop가 돌아간다.

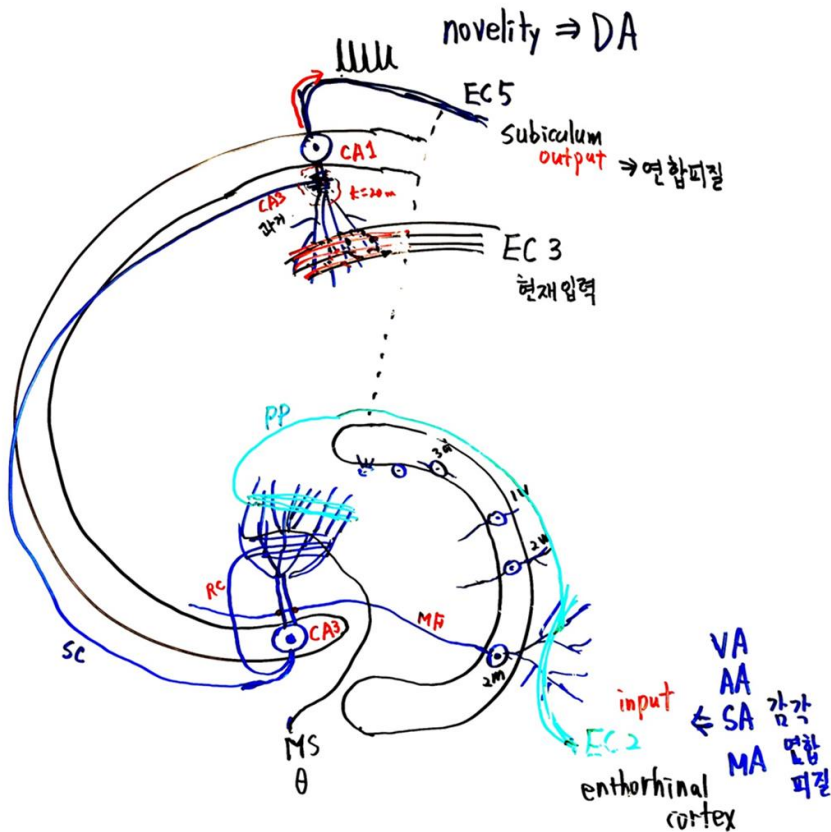
각각이 반복을 계속하면 임계치를 넘게 된다. 반복이 계속되어 ACC에 과부하가 되면 ACC에서 이 정보가 EC로 간다. 감정의 특징은 멈출 수 없다. 감정은 명령을 받지는 않지만 영향은 받는다.  
EC에서 해마로 간다. 해마에서 MB(mammillary body: 유두체)로 간다. MB에서 AN(anterior nucleus: 시상전핵)으로 간다. AN에서 다시 ACC로 간다. 이 회로(해마- MB- AN- ACC- EC- 해마)가 기억 회로인 파페츠 회로이다.

놀란 가슴이 진정되고 나면 비슷한 옛날 기억이 떠오르고 링크되게 된다. 그러면 기억을 불러오게 된다.  
새로운 기억은 기억을 불러오는 곳과 연결된다.  
편도체에서 Septum과 연결한다. Septum은 해마와 양방향으로 연결되어 있다. Septum과 해마가 연결되어 기억을 인출할 때 나오는 웨이브가 세타파이다. 약 7Hz이다.  
세타파에 실리는 것은 해마에서 만들어진 감마파이다. 감마파는 같이 흥분된 피라미드 뉴런의 연결이다. 구체적인 장면은 감마파 중에서 하나의 파가 돌출된 것이다. 이 감마파가 세타파 안에 실린다. 시켄스가 이동하는데 한발 앞서 이동한다 하여 precession이라 한다.

해마는 멧돼지와 관련된 이전의 기억을 모두 조사한다. 기억은 해마에서 만들어 지고 그것을 감각 연합피질에 저장하기 때문에 해마는 그 기억이 저장되어 있는 감각연합피질의 위치를 다 알고 있다. 해마는 PFC와 항상 교신을 하며, PFC의 요청이 오면 해마는 기억을 찾아 PFC에 제공한다. 기억을 인출할 때 나오는 것이 세타파이다.  
그러면 신문에 난 멧돼지 기사와 오늘 내가 북한산에서 본 멧돼지가 링크된다.  
그것이 바로 기억을 만든다는 것이다. 만들어진 기억을 저장하기 위해 해마에서 MB(mammillary body)핵으로 보내고 MB에서 AN(시상 전핵)을 거쳐 다시 ACC로 보낸다. 이것이 기억회로인 파페츠 회로이다.

그 과정에 NAc에서 nBM(nucleus basalis of Meynert: 마이네르트 기저핵)을 자극하고 nBM에서 아세틸콜린을 분비하여 대뇌피질을 각성(arousal) 시킨다. 깨어 있는 것은 공짜가 아니다.

기억이 구체적으로 만들어 지는 곳이 해마이다.



치상회(DG: dentate gyrus)와 암문각을 그린다.

치상회에 줄기 세포가 있다. 줄기세포가 성장을 한다. 모두 성장하는데 2 달이 걸린다. 과립세포(granula cell)이다. 과립세포의 축삭(axon)이 피라미드 세포인 CA3 세포와 시냅스 한다. 과립세포의 축삭을 MF(mossy fiber)라고 한다. CA3 세포는 주 세포(principle cell)이다.

과립세포의 축삭과 CA3 세포가 시냅스 하는 부위를 조건부 뇌관 (conditional detonator)이라 한다.

브레인에서 일어나는 시냅스 중에서 가장 강한 시냅스이다. CA3 에서 나온 축삭은 SC(Schaffer collateral)를 거쳐 CA1 과 시냅스 한다. 그리고 CA3 에서 나온 축삭의 일부가 다시 자기에게 시냅스 한다. RC(recurrent connection)라고 한다. CA3 의 출력이 다시 CA3 에 입력으로 피드백 되는 이 사건이 바로 기억이다.

과립세포에는 EC layer 2 에서 입력이 들어 간다. 이 입력이 PP(perforant pathway)를 거쳐 CA3 와도 시냅스 한다.

CA1 세포에서 나온 출력은 EC layer 5 를 통해 해마지각(Subiculum)으로 나간다.

어른은 해마에서 하루 약 700 개의 새로운 과립세포가 생긴다.

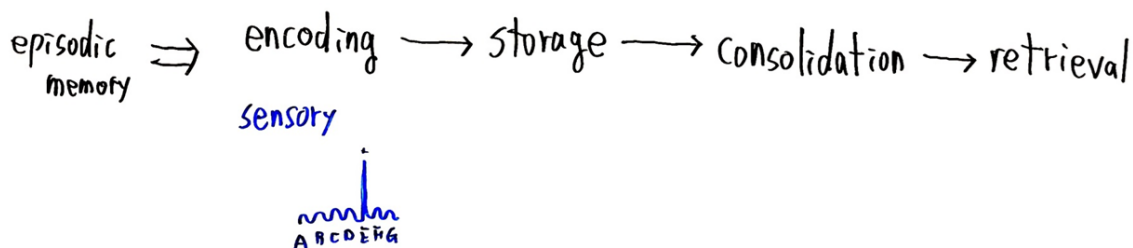
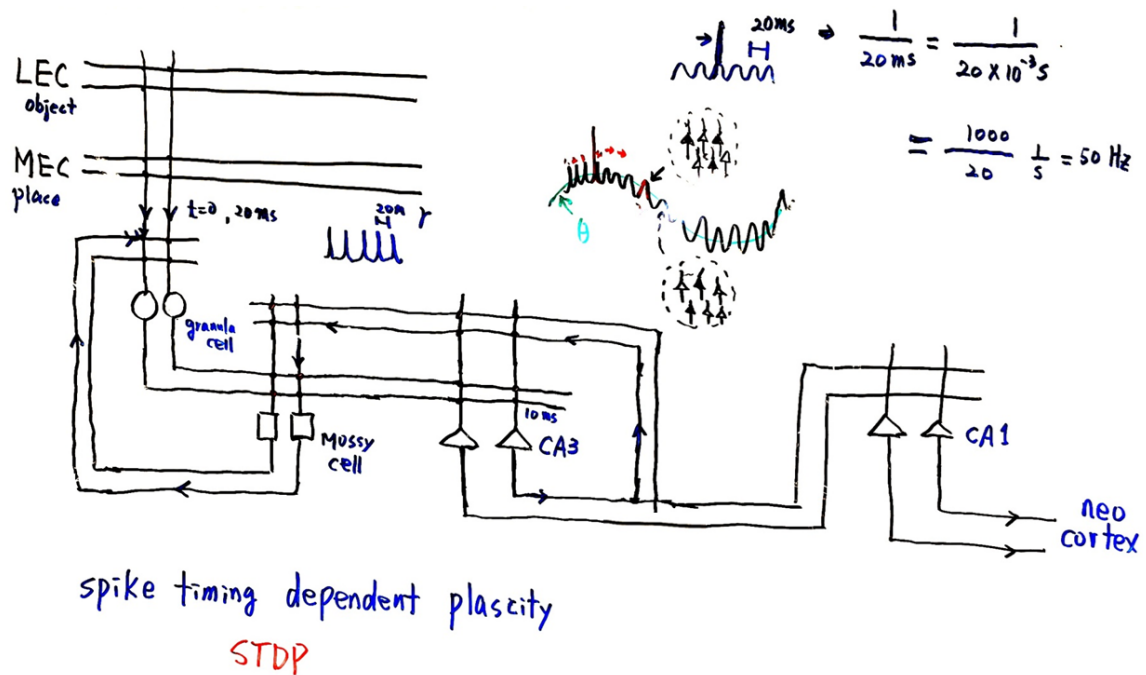
세포는 배열이다. CA1 과 CA3 뉴런들의 배열이 독특하다. 벚단을 세워 놓는 것 같다.

그 벚단을 mossy fiber 들이 지나가며 시냅스 한다. Mossy fiber 와 CA3 가 시냅스 하는 conditional detonator 간격이 일정하다. 세포의 배열이 독특하면 특별한 기능을 수행한다. 망막세포와 소뇌의 푸키니 세포도 배열이 특이하다. 우리가 자연을 이해 한다는 것은 대부분 현미경적인 사건이다. 화성연쇄 살인사건 범인을 특정한 것도 DNA 검사를 통해서다. 15 년이 지난 옷에 묻은 땀에서 DNA 를 추출한 것이다. 과학은 위대하다.

과학의 모든 분야가 분자 레벨에서 승부가 결정된다.

브레인 공부는 뉴로 사이언스, 신경 해부학, 인지과학 모두 해야 한다. 뉴로 사이언스에서 더 깊이 들어가면 분자세포 생물학 그리고 단백질 공학으로 들어간다. 단백질 공학으로 들어가면 모두 분자 레벨에서 이야기 된다. 그 모든 것이 배열에서 통합된다. 공통패턴을 찾아낸다.

인지과학 레벨에서 이것을 회로로 그린다.



LEC 와 MEC 에서 입력이 들어온다. 과립세포와 시냅스 한다. 과립세포에서 나온 축삭은 모시세포와 시냅스한다. 모시 세포는 다시 과립세포에 억제성 시냅스를 한다. 과립세포의 메인 축삭은 CA3 와 시냅스 한다.

CA3 의 recurrent 회로는 CA3 와 모시 세포와 시냅스한다.

CA3 축삭은 CA1 과 최종적으로 시냅스 한다. 해마의 출력부는 CA1 이다. 신피질로 간다.

LEC 에서는 사물(object)에 관한 정보가, MEC 에서는 장소(place)정보가 들어온다. LEC 와 MEC 에서 들어온 정보가 CA3 를 흥분 시킬 때까지 걸리는 시간이 약 10ms 가 걸린다. CA3 의 recurrent 신호가 모시 세포를 거쳐 LEC 와 MEC 신호를 만나기 까지는 총 20ms 가 걸린다. 그때 전과 같은 신호를 다시 만나면 폭발하게 된다. 그래서 전압펄스가 생긴다. 펄스의 간격이 20ms 이다. 감마파이다. Sequence 가 생긴 것이다.

우리가 기억한다는 뉴런적인 실체는 들어온 자극과 피드백 된 자극이 맞았다는 것이다. 그것을 STDP(spike timing dependent plasticity)라고 한다.

일화기억(episodic memory)의 단계는 부호화(encoding)- 저장(storage)- 공고화(consolidation)- 회상(retrieval)이다. 일화기억의 대상은 감각입력이다. 감각입력을 부호화 한다. 감각입력을 spike 의 sequence 에 부호화한다. A, B, C, D, E, F, G 이렇게 7 개의 감마펄스가 오면 E 번에 감각입력을 부호화 했다는 것이다. 기억의 실체는 전기적 흥분이다. 주기는 20ms 이다. 20ms 를 주파수로 변환하면 50Hz 가 된다. 50Hz 는 감마파 대역이다. 기억이란 감마파 중 5 번째 물결 E 에 내가 본 감각입력이 실려 있다는 것이다. 부호화(encoding)란 유니크하게 흐르는 전압펄스 한곳에 찰라 넣었다는 이야기이다.

핵심은 sequence 이다. 그것을 한마디로 패턴서열이라 한다.

제프 호킨스는 "생각하는 뇌, 생각하는 기계"에서 다음과 같이 이야기 했다.

1. 신피질은 패턴서열을 저장한다.
2. 신피질은 패턴서열을 불변표상으로 저장한다.
3. 신피질은 패턴서열을 자동연상을 통해 불러낸다.
4. 신피질은 패턴서열을 계층구조에 저장한다.

서열은 sequence이다. 하나가 아니라 연속패턴이다. 패턴이 연속되어 있기 때문에 조합한다. 구성적(constructive)이다. 브레인을 여는 가장 중요한 개념은 sequence이다. 전압펄스의 sequence이다.

브레인에서 전압펄스는 0.1Hz에서 1000Hz사이이다. 이 전압펄스를 실어 나르는 캐리어가 있어야 한다.

이 캐리어가 세타파이다. 세타파 속에 4-7개 정도의 감마파가 들어가 있다.

기억이란 세타파 속에 있는 감마파이다. 감각입력을 부호화 했다는 것은 감마파 중 1개가 튀었다는 것이다.

구체적 정보는 감마파의 몇 번째에서 피크가 올라갔는가 이다. 이것을 precession 이라고 한다. 피크가 이동을 하는데 한발 앞서 이동한다고 해서 precession이다. 하나씩 이동한다. 그래서 예측이 가능하다.

피크는 피라미드 세포의 연결이다. 피크와 피크의 차이는 흥분한 피라미드 세포의 조합 차이이다.

피라미드 뉴런의 집합에서 흥분하는 피라미드 뉴런이 시간적으로 변한다. 시간 기억은 연결된 피라미드 뉴런의 흥분이다. 세타파는 laterall septum에서 나온다.

해마가 하는 일은 장소와 사물의 연합이다.

브레인의 진화과정을 이해하려면 구석기 시대(3만년-200만년 전)의 호모사피엔스의 생활을 상상해 보아야 한다.

그 시대에는 논, 밭은 없다. 수렵채취가 생활 방식이다. 매일 먹이 감을 찾아야 한다.

길을 잃으면 죽을 수도 있다. 매일 매일이 삶과 죽음의 갈림길이다. 그 상황에서 우리 브레인이 진화해 왔다.

중요한 것은 지형 지물이다. 장소와 사물이 중요하다. 큰 바위나 큰 나무는 중요하다. 이정표이다.

그것이 없으면 방향을 잃는다. 해마는 전적으로 그런 환경에서 진화했다.

(2 교시)

해마와 전전두엽이 동작하는 것을 이해하기 어려운 것은 우리가 현재 살고 있는 환경이 압도적으로 우리의 시선을 왜곡하기 때문이다. 호모 사피엔스는 적어도 200 만년 전에 출현했고, 우리가 문화를 이루고 산 지는 1 만년 밖에 되지 않는다. 특히 지난 50 여년간 환경이 극단적으로 변했다. 빌딩이 들어서고 자동차가 다니고



여러 가지가 상상이 되지 않는다.

그러나 브레인인 진화해 왔던 90%의 시간은 구석기 시대였다. 그 시대에 전전두엽이나 해마가 어떤 역할을 해야 될 것인가를 생각하면 더 쉬워진다.

대뇌 피질에는 우리의 진화 흔적이 아로새겨져 있다. 신 피질 운동 영역에 falling response 라는 상당히 큰 영역이 있다. 350 만년 전 인류가 직립하면서 무수히 넘어 지면서 적응했던 흔적이다. 어린애가 걷기 시작할 때 수 천 번 넘어지면서 반응하는 영역이다. 사람이 죽은 것은 넘어져서 죽는다. 나이가 들면 많은 사람들이 넘어져서 그 후유증으로 죽는다.

해마 관점에서 보면 대뇌 신 피질은 memory buffer이다.

장소(place) 정보와 사물(object) 정보가 해마에서 연합(association)된다.

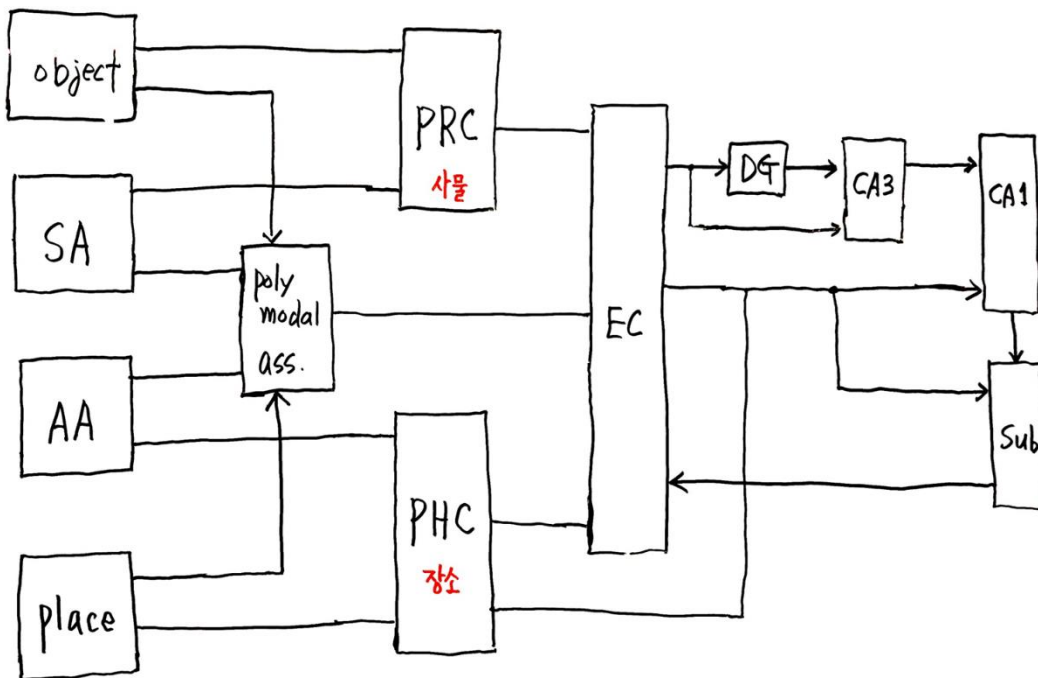
상황(context)정보와 사건(event) 정보도 상호 연합된다. 이 2개의 연합이 생존에서 가장 중요한 연합이다.

지형 지물과 먹이 감이 있는 장소를 결합해야 한다. 내가 당했던 사고와 그 상황을 결합해야 한다.

그래서 생긴 것이 터부이다. 맥락과 경험을 결합시키고, 공간 정보와 사물을 결합시키는 이 두 연합이 해마에서 일어난다.

이 spatial association이 CA3에서 일어난다. CA1은 출력을 sequence로 내 보낸다. CA1에서는 temporal association이 일어난다. 바로 전의 장면과 지금 장면을 비교한다. 차이가 없으면 안전하다.

차이가 나면 새로운 것이고 중요한 것으로 취급한다.



감각 입력은 모여서 해마로 들어간다 해마로 들어가는 정보는 먼저 사물(object) 정보이다. 큰 나무, 바위 같은 지형 지물이다. 그리고 손으로 만져 볼 수 있는 SA(somatic association)정보가 있다.

다음에는 AA(auditory association) 정보가 들어 온다.다음에는 장소(place) 정보가 들어온다.

시각에는 dorsal route와 ventral route가 있다. Dorsal route는 장소 정보를 중계하고 ventral route는 사물 정보를

중계한다.

해마로 들어온 감각 입력은 poly modal association으로 모두 모인다. 위의 표에서 화살표가 없는 선은 정보를 서로 주고 받는다는 의미이다. 사물 정보와 촉각 정보는 PRC(perirhinal cortex)로 들어간다. 장소 정보와 청각 정보는 PHC(parahippocampal cortex)로 들어간다. PRC와 PHC가 만나서 들어가는 영역이 EC이다.

EC에서 먼저 DG로 들어간다. DG에서 CA3, CA3에서 CA1, CA1에서 해마지각(Subiculum)으로 간다.

Subiculum에서 EC로 가서 폐회로가 된다.

또한 EC에서 결가지가 나와 CA3로도 간다. 그리고 EC에서 CA1으로도 직접 간다. EC에서 Subiculum으로도 간다.

EC에서 나온 정보가 PHC와도 쌍방 연결되어 있다. 항상 다중으로 연결된다. 다층적으로 연결된다.

양 방향으로 연결 되므로 형성된 기억이 연합피질에 저장된다. 그래서 그 장소에 가면 그 기억이 떠오른다.


해마 각 영역의 역할이다.

DG → spatial memory encoding  
pattern separation

CA3 → spatial association  
place : object  
context : event  
spatial working memory

CA1 → storage and consolidation  
of memory

temporal association

현재 : 과거 →  novelty : 과도탐색  
CA1 CA3

DG에서는 공간 기억을 부호화하고 패턴분리가 이루어진다.

CA3에서는 spatial association 이 일어난다.

장소(place) 정보와 사물(object) 정보가 해마에서 연합(association)된다.

상황(context)정보와 사건(event) 정보도 상호 연합된다. 이 2 개의 연합이 생존에서 가장 중요한 연합입니다.

지형 지물과 먹이 감이 있는 장소를 결합해야 한다. 내가 당했던 사고와 그 상황을 결합해야 한다.

그래서 생긴 것이 터부이다. 맥락과 경험을 결합시키고, 공간 정보와 사물을 결합시키는 이 두 연합이 해마

CA3에서 일어난다. 이것이 되면 친숙한 공간에 대한 감이 생긴다 이것이 spatial working memory 이다.

공간에 정합적인 행동이 가능해 진다.

CA1 은 Storage and consolidation of memory 즉 기억을 저장하고 공고화 한다. CA1 은 해마의 출력부위이다. 출력을 sequence 로 내 보낸다.

CA1 에서는 temporal association 이 일어난다. 현재와 과거를 비교한다.

CA1 에는 CA3 에서 입력이 들어오고, 또한 감각 연합 피질(VA, AA, SA, MA)에서 입력이 직접 들어온다. 출력은 해마지각으로 나간다. CA1 은 CA3 에서 들어온 20ms 가 지난 입력과 EC 에서 들어온 현재 입력을 비교한다. 바로 전의 장면과 지금 장면을 비교하는 것이다. 차이가 없으면 안전하다. 기억하지 않는다. 차이가 나면 새로운 것(novelty)이고 중요한 것으로 취급한다. 그때는 흥분하여 전압펄스가 발생한다. 이 전압펄스가 해마지각으로 출력된다. 이것을 나르는 캐리어는 lateral septum 에서 나온 세타파이다.

해마는 novelty 를 처리하는 곳이다. 해마는 위대하다. 해마를 통해서 우리는 새로운 환경으로 들어갈 수가 있었다. 과거 정보와 현재 정보가 같으면 출력이 제로이다. 기억하지 않는다. 다르면 출력이 나간다.

새로운 것은 기억한다. 기억이 남는 것은 새로운 것이다.

새로움은 도파민을 분출하게 한다. 과도하게 새로움을 찾으면(과도탐색) 주의력이 결핍하게 된다.

새로움은 중요함의 한 요소이다.

새로우면 내가 좋아하는지 싫어하는지 확인한다. 그 다음은 내가 그것을 획득할 수 있는지 확인한다.

획득할 수 있다면 그것은 salience 를 획득하게 된다.

fire together  
bind together  
50 ms LTP window  
AT → BT  
↓  
신경회로  
기억

"Fire together, bind together" 함께 흥분하면 함께 결합한다. 헤브의 법칙이다.

인문학적으로 해석하면 "함께 고생하면 단합이 잘된다"이다.

함께 결합한 것이 신경회로이다. 즉 기억이다. "함께"의 의미는 근접한 시간으로 50ms 이내 이다.

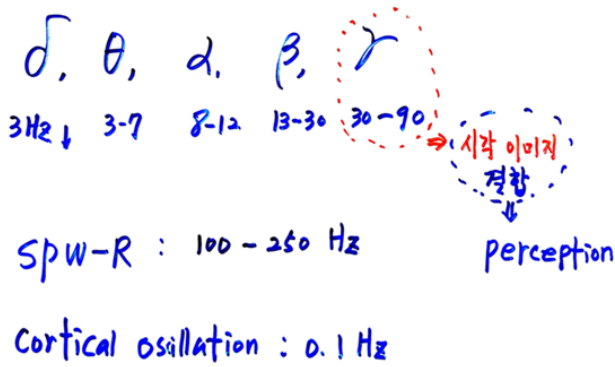
이 시간을 뇌 과학에서 LTP(long term potentiation)이 일어나는 window 라고 한다. 50ms 내에 일어나면 동시성을 확보한다. 그러면 흥분되는 주파수가 동일한 하나의 주파수로 결정된다.

동일한 주파수로 동기화된 피라미드 세포의 연결 망을 기억이라고 한다.

함께 firing 하여 action potential 을 만든 뉴런의 연결 망이 기억이다.

Self- organized coherent firing(oscillation)이다. 이렇게 되면 단일 주파수로 fix 가 된다.

브레인 의 주파수는 다음과 같다.



SPW-R(sharp wave riffle)은 100-250Hz 이다.

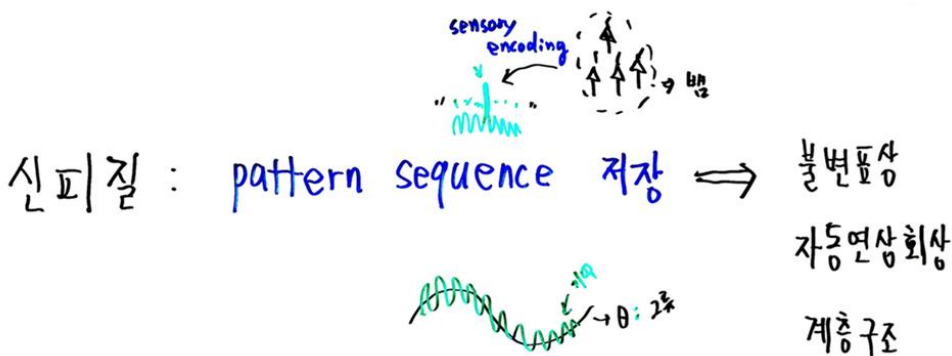
가장 느린 cortical oscillation 은 0.1Hz 이다.

감마 웨이브가 시각적 정보를 모으는데 사용되는 주파수이다. 시각 이미지를 결합한다.

시각 이미지를 결합하기 때문에 우리는 지각(perception)할 수 있다.

본다는 것은 수 억 개 뉴런이 진동하여 하나의 패턴을 만들어 낸다.

그것이 self- organized coherent oscillation 이다.



신 피질은 패턴의 서열(pattern sequence)을 저장한다. 패턴 서열은 감마파이다, 패턴 서열에 번호를 매길 수 있다. 그 중 4 번째 파장이 튀어 올랐다는 것이 감각을 encoding 했다는 말이다.

세타파는 기억의 덩어리이다. 그 기억 덩어리 속에 4-7 개의 기억이 들어 있다. 각각의 기억이 감마파이다.

기억은 하나를 빼 낼 수 없다. "붉다"는 혼자서 존재할 수 없다. 붉은 장미, 붉은 입술, 붉은 광장과 같이 덩어리 속에 존재한다. 한 덩어리가 세타파이다. 버스는 기억의 덩어리이고 버스 속에 있는 승객이 기억이다.

기억을 인출할 때는 버스를 불러오고 그 속을 열어보면 4-7 명의 사람이 있다. 버스를 불러 오지 않고 버스 속 사람만 불러올 수 없다. 여름에 갔던 피서, 일요일 친구의 결혼식, 누구와 싸웠던 사건 등 한 덩어리의 기억을 불러온다. 피서 기억을 불러 오면 갔던 백사장이나 음식점과 음식, 숙소 등 기억이 알알이 들어 있다.

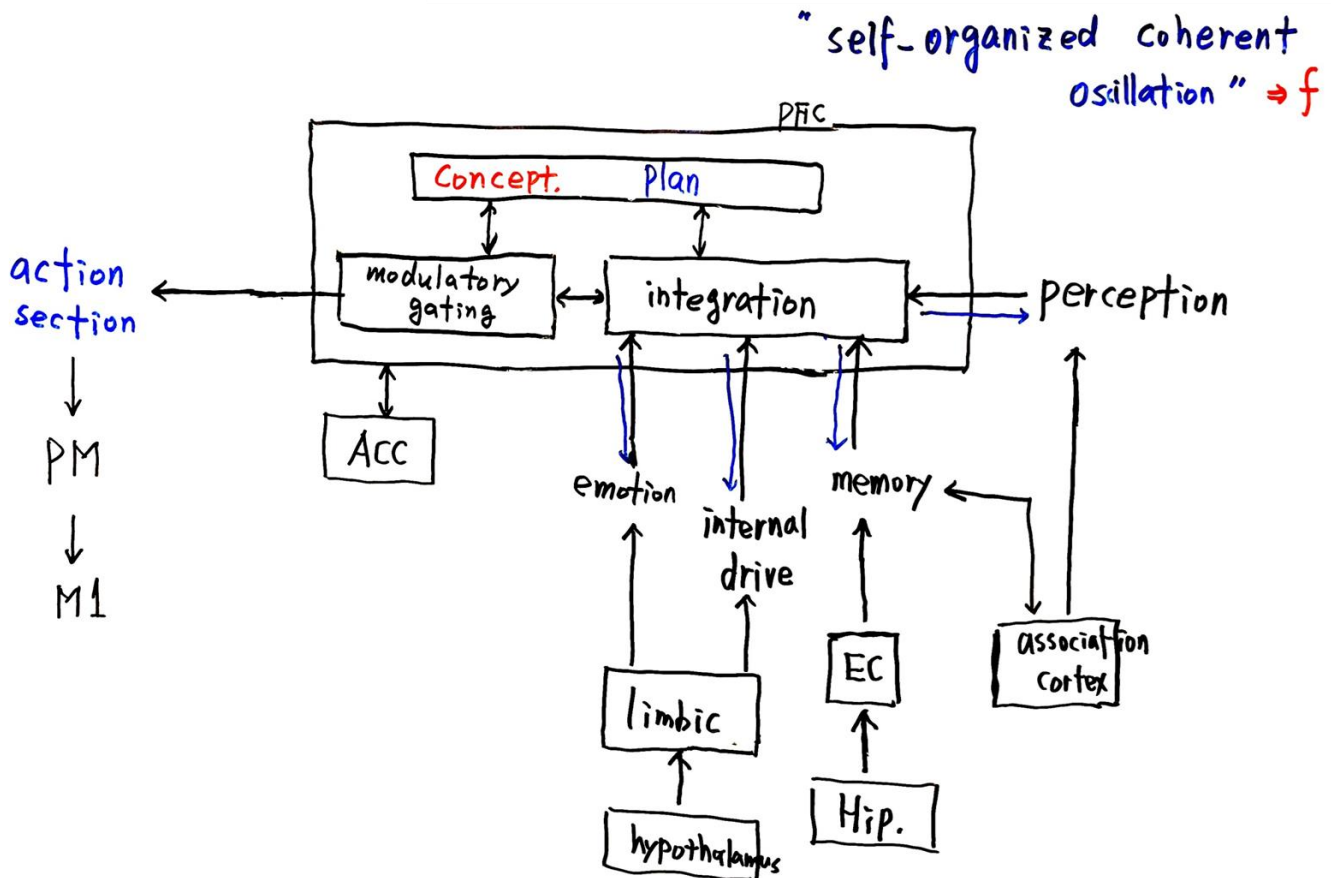
신피질은 패턴서열을 불변표상으로 저장한다. 이것을 항등성이라 한다.

A 라는 사람은 어떤 옷을 입었던, 어느 장소에 있든, 무슨 일을 하든 A 이다. 그것이 항등성이다.

인간이 언어를 사용하면서 가능해 졌다

신피질은 패턴서열을 자동연상 회상한다. 단서만 주면 자동으로 기억을 회상한다.  
신피질은 패턴서열을 계층구조에 저장한다. 기억은 만들어 질 때 계층 구조를 갖는다.  
패턴서열은 해마에서 만든다.

브레인의 주력부대는 전전두엽과 해마이다.



전전두엽(PFC)은 인간을 인간답게 만드는 brain of brain 이다.

PFC 에 가면 모든 정보 시그날이 concept 으로 바뀐다. PFC 의 두 번째 역할은 plan 을 세우는 일이다.

다음은 감정과, 본능, 그리고 기억과 지각을 통합(integration)한다.

마지막으로 그렇게 통합된 정보를 바탕으로 out put 을 조율한다. 이 4 가지 기능은 상호 연결되어 있다.

통합의 대상은 감정(emotion), 내적 욕구(internal drive) 및 기억(memory)이다.

내적 욕구는 본능이다. 감정은 내가 좋아하거나 싫어하는 것이다. 감정과 내적 본능은 limbic system 에서 온다.

Limbic system 에는 편도체, 해마, septal area 등이 있다. 욕구, 쾌감, 중독 등을 관장하는 부위이다.

Limbic system 은 hypothalamus 로부터 직접 영향을 받는다. PFC 는 편도체와 직접 연결되어 있다.

편도체는 감정의 증폭기이다. 감정을 건드리면 안 된다

어린애는 울거나 웃으면 모든 것이 해결된다. 부모가 알아서 모두 해 준다.

PFC가 본능적 욕구와 감정을 통합한다. 감정과 본능만 있으면 어린이나 짐승과 다를 바 없다.

PFC는 본능과 감정에 더하여 기억을 통합한다

세가지 중에는 우선 순위가 있다, 욕구가 우선이고 다음이 감정 기억은 마지막이다. 어쩌면 기억은 학습해야 하므로 자주 바뀌는 것이 수록 좋을 수도 있다. 학습에 의해서 기억은 계속 증가한다 기억은 해마에서 EC를 거쳐 온다

기억은 연합피질에 저장되어 있다. 기억은 연합피질에서 PFC로 오지만 PFC에서 연합피질로 가기도 한다.

연합피질에 있는 통합된 자극이 기억이 되고, 기억된 것이 다시 연합피질에 가서 저장된다.

PFC는 연합피질에 있는 기억으로 살아간다. 이것이 작업기억이다

연합피질에 있는 기억을 지금 들어오는 자극과 비교하는 것을 지각(perception)이라 한다

지각이 곧장 integration으로 들어간다.

새로운 정보가 들어 가면 PFC의 concept이 바뀐다

그러면 모으는 통합 점이 바뀐다. integration 초점이 바뀐다. 그러면 감정, 욕망도 바뀐다. 당연히 기억도 바뀐다.

내가 보는 지각도 바뀐다. 개념 공간이 바뀌기 때문이다.

이것을 self-organized coherent oscillations 이라고 한다. 스스로 조직하는 일관된 떨림이 일어난다

우리 브레인엔 동적 다이나믹스이다. 배운 만큼 아는 만큼 새로운 세계가 점점 펼쳐 진다.

작은 차이가 반복하면 위대함을 만든다.

컨셉이 바뀌면 세상을 보는 시선의 각도가 바뀐다

동일한 환경을 완전히 다른 각도로 본다. 매일 매일이 새롭다. 이것이 해마의 위대한 승리이다.

끊임없이 우리는 새로움을 추구하게 되어있다. 해마는 novelty를 추구한다. Novelty가 도파민을 분출하게 한다.

그러면 뇌의 세계가 확장된다. 그래서 호모사피엔스가 지구의 주인이 되었다. 해마가 끊임없이 새로움을 추구하기 때문에 우주까지 나가게 되었다. 새로움은 과거와 현재를 비교함으로써 나온다.

환경이 바뀌면 개념도 바뀐다. 사람도 시간이 지나면 바뀐다. PFC는 바뀌는 것을 항상 업데이트 한다.

그렇게 해서 환경에 적응한다. 항상 현재 상황에 맞게끔 modulate 한다. 현재 사정에 맞게 조율된 게이팅

시그널이 나온다. 조율하여 나온 결과가 action selection이다. 모든 행위의 결론은 행동선택이다.

브레인은 내 행동을 선택하기 위해서 존재한다. 다른 말로 결정이다. 결정은 나의 판단과 선택의 결과이다.

전공, 직업, 결혼 모두 내가 선택했다. 그것으로 나의 인생이 결정된다. 브레인이 하는 일은 선택하는 것이다.

모든 행위의 결론은 행동선택이다.

전두엽이 욕구, 감정, 기억을 모아서 통보하고 달라지면 개념을 바꾼다. 바뀐 것을 다시 업데이트 한다.

그것을 modulating이라 한다. 그래서 지금 현 상태에서의 최상의 선택을 한다. 이것이 highest salience이다.

이후는 PM을 거쳐 M1으로 가서 행동으로 이어진다.

우리가 전두엽을 공부해야 하는 이유는 PFC가 우리의 행동을 결정하고 우리의 운명을 결정하기 때문이다.

나의 욕망, 감정, 기억, 지각이 통합되고 그것이 계속 업데이트 된다. 따라서 plan이 계속 바뀐다.

계획이 중요한 것이 아니라 계획의 수정이 더 중요하다. 목표를 달성하기 위해서는 계속 계획을 수정해야 한다. 자연과 환경과 사회가 바뀌기 때문이다. 현장에 답이 있다는 이유이다. 계획은 수정되어야 한다.

오늘 강의는 “우리는 왜 행동하는가”이다.

중요하기 때문에 행동한다. 이 자리에 온 것도 중요하기 때문에 온 것이다.

그러면 무엇이 중요한 것인가?

Salience는. 튀어 나온 것, 돌출된 것, 중요한 것을 의미한다.

어린이들에게 중요한 것은 재미있고, 맛있는 것이다.

성인들은 가능성이 있는지 따진다. 그리고 좋고 싫음을 따진다.

마지막으로 새로운 것을 찾는다.

새로운 것의 문이 해마이다. 새로운 것의 근거가 해마 CA1에서 과거와 현재를 비교함으로써 새로움을 발견한다.

과거와 현재가 다른 것이 새로움이다. 새로울 때 도파민이 나온다. 그래서 인간은 새로운 것에 끌린다.

새로움, 좋아함, 그리고 실현 가능성이 NAc에 모인다. NAc가 salience를 만든다.

Salience 중에서 highest salience를 PFC와 NAc가 선택한다. 그것이 action selection이다.

선택이 운명이다. 여러분들이 이 자리에 있는 것이 선택이다.

PFC는 브레인 전체와 링크되어 있다. 감정, 본능, 기억과 링크하여 항상 업데이트 하면서 가중치를 둔다.

그 중에 최고를 선택하여 행동하게 된다. 오늘은 해마 중심으로 공부했다.

수고 하셨습니다.