

제 45회 과학리딩 노트

(박문호 박사님 강의를 요약 정리한 내용입니다.)

브레인은 다중적이고 다층적이다.

브레인에 대한 관점이 작년 다르고 올해 다르다.

공부를 여러분의 종교나 직업보다 위에 두어야 접근 가능하다.

브레인 구조를 어디든지 그릴 수 있어야 된다. 브레인에 대한 실력은 명확하게 측정할 수 있다. 바둑처럼 상당히 엄밀한 체계이다.

생각은 짧다. 수행하는 스님도 5분동안 일정한 생각을 유지하기가 쉽지 않다.

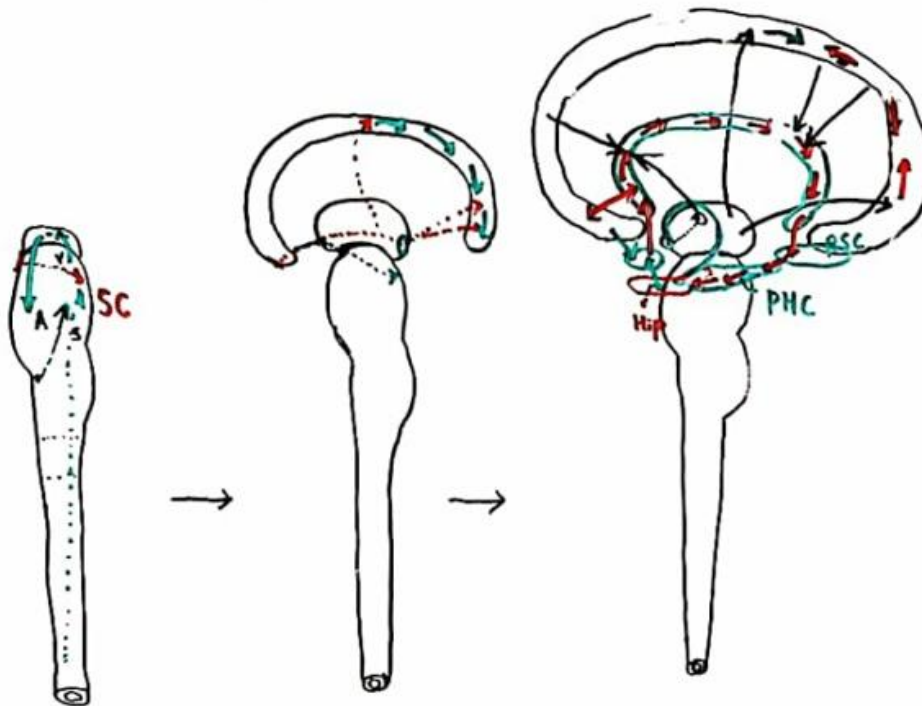
한 가지 생각을 오랫동안 지속하는 것이 본질적으로 어렵다. 같은 생각을 오랫동안 연속되게 하는 사람들이 인류 역사를 바꾼다. 아인슈타인이나 석가모니 같은 분들이다. 한가지 생각을 20-30년 계속 했든 분들이다.

대하 소설은 등장인물이 100명이 넘고, 한 생각을 적어도 3년은 해야 한다. 한 생각을 몇 년씩 계속해야 하는 직업이 소설가, 예술가, 수학자, 물리학자 들이다. 일반인은 먹고 사는 문제에 매달리다 보니 생각이 짧다. 토막 난 생각만 한다.

의식은 생각을 길게 하게 해 주는 메카니즘이다.

인류의 브레인은 생각을 길게 할 수 있도록 아직 진화되지 못했다. 진행 중이다.

브레인의 진화 과정이다.



파충류 이전에는 상구(SC)가 대뇌 피질 역할을 했다. 시각(visual), 체 감각(somatic), 청각(auditory)도 모두 상구에서 처리했다. 감각 정보를 운동으로 처리하기 위한 릴레이 기관이 생겼다.

정보가 점점 많아 지면서 릴레이 센터가 분화하여 시상이 되었다.

3억 6천 만년 전 물에서 육지로 올라오면서 시각과 청각의 엄청난 정보량을 처리하기 위해 신 피질이 생겼다. 이제 시각 정보는 상구로도 가지만 시상으로 더 많이 가게 되고, 시상에서 시각 피질로 중계가 된다. 청각과 체감각도 대뇌 피질로 중계된다.

신생대에 와서 포유동물의 브레인도 다시 한번 진화한다.

신 피질이 점점 커지면서 전체 브레인을 덮게 되었다.

대뇌 피질의 일부였다가 떨어져 나온 것으로 생각 되어지는 편도체가 대뇌 피질과 정보를 주고 받는다.

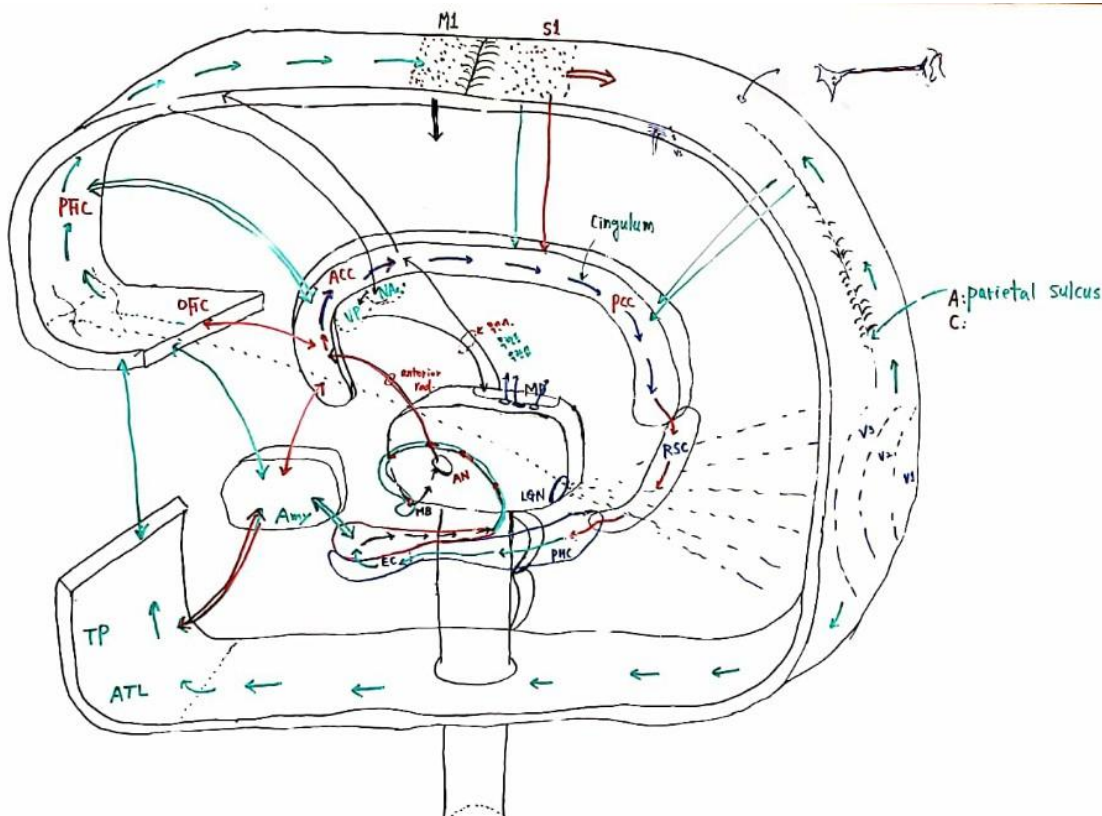
피질이 늘어 나면서 RSC(retrosplenial cortex), PHC(para hippocampal cortex), 그리고 Hippocampus가 생겼다.

그러면서 편도체와 해마가 서로 정보를 주고 받는다. 시상에서 중계된 감각들이 피질을 타고 흐른다.

피질이 늘어 나면서 새로운 피질 cingulate cortex가 생긴다. 앞 부분을 Acc 뒤 부분을 Pcc라 한다.

PFC가 Acc와 상호 정보를 주고 받는다. 그리고 Acc와 편도체가 정보를 주고 받는다. 그 정보가 cingulum을 타고 Pcc로 흘러 간다, Pcc에서 RSC를 거쳐 PHC 그리고 EC(entorhinal cortex)를 지나 해마로 들어 간다. 해마에서 Fornix를 통해 MB(mammillary body)에 가고 MB에서 MTT(mammillo thalamic tract)를 통해 AN(anterior nucleus of thalamus)으로 가서 AN에서 다시 Acc로 간다. 신피질에서도 Acc로 정보가 내려 간다. 회로가 계속 돌면서 신피질과 ACC가 synchronize된다.

이 그림은 어디에도 없는 것이다. 내가 직접 만든 그림이다. 브레인 피질의 중간을 떼어 낸 형태이다.



아래 부분의 왼쪽 끝은 ATL(anterior temporal lobe)영역이다. 측두극(TP: temporal pole)을 포함한다.

위 부분의 왼쪽 끝은 OFC(orbitofrontal cortex) 영역이다.

중간에 시상이 들어 선다. 기둥이 하 측두엽을 뚫고 내려 온다. 상구와 하구도 그려 준다.

상구가 예전에는 이 전체 역할을 하였다. 신 피질이 상구의 역할을 떠 맡게 되었고 그 중계 역할을 시상이 하게 된다. 편도체(amygdala)는 신 피질이 말려 들어갈 때 떨어진 것이다.

망막을 OFC 위 쪽에 표시한다. 망막에서 나온 시 신경은 시상의 LGN(lateral geniculate nucleus)을 거쳐 V1, V2, V3 영역에 투사된다. 시각의 등쪽 흐름은 두정엽으로 가고, 배쪽 흐름은 하 측두엽으로 간다.

이 그림에서는 측두엽이 나타나 있지 않다.

하 측두엽에 간 정보는 ATL을 거쳐 OFC로 간다. OFC는 편도체와 다중으로 연결되어 있다. ATL과 편도체도 다중으로 연결되어 있다. 이 연결들(ATL-OFC-Amy-ATL)이 꿈을 꿀 때 메인 회로이다.

꿈이 놀랍고, 당황하고, 근심 걱정이 많은 이유가 이 영역이 정서를 담당하는 부위이기 때문이다.

좁은 공간에 넣기 위해 이불을 겹으로 접듯이 신 피질이 늘어 나면서 말려 들어 대상회(cingulate cortex)가 추가로 생겼다. OFC가 대상회의 앞 부분(Acc)과 다중으로 연결된다. 이 부분이 욕망의 엔진이다. 측두극(TP: temporal pole)이 포함된 ATL 영역은 명예심, 수치심, 왕 따, 시기심, 질투심 등 사회적 감정을 담당한다.

산속에서 갑자기 꿈을 보면 그 시각 정보와 놀란 감정이 ATL, Amy를 거쳐 Acc로 들어 간다. Acc에서 cingulum을 통해 Pcc로 간다. 두정엽으로 간 시각 정보도 Pcc 쪽으로 내려간다. 체 감각감 정보도 두정엽에서 Pcc로 내려 온다.

감정에 물든 연합 감각 정보는 Pcc에서 RSC로 들어 간다. RSC에서 PHC, EC(entorhinal cortex)를 거쳐 PP(performant pathway)를 통해 해마로 들어 간다. 해마는 커다란 호수로 생각하면 된다. 모든 연합 감각이 모두 해마에 모인다. 해마에서 처리된 정보는 fornix를 통해 MB(mammillary body)로 간다. Fornix를 구성하는 신경섬유가 100만 다발이 넘는다. MB에서 AN으로 가고 AN에서 다시 Acc로 간다. Amy와 해마도 다중으로 연결되어 있다. 원이 닫혀 파페츠 회로를 완성한다. 우리 감정과 기억을 만드는 회로이다. 압력, 온도, 통증 등 체 감각 정보는 S1에서 Acc로도 내려오고 두정엽 쪽으로도 내려 간다.

Acc에서 PFC와도 다중 연결되어 있다. Acc는 자동항법장치라고도 한다.

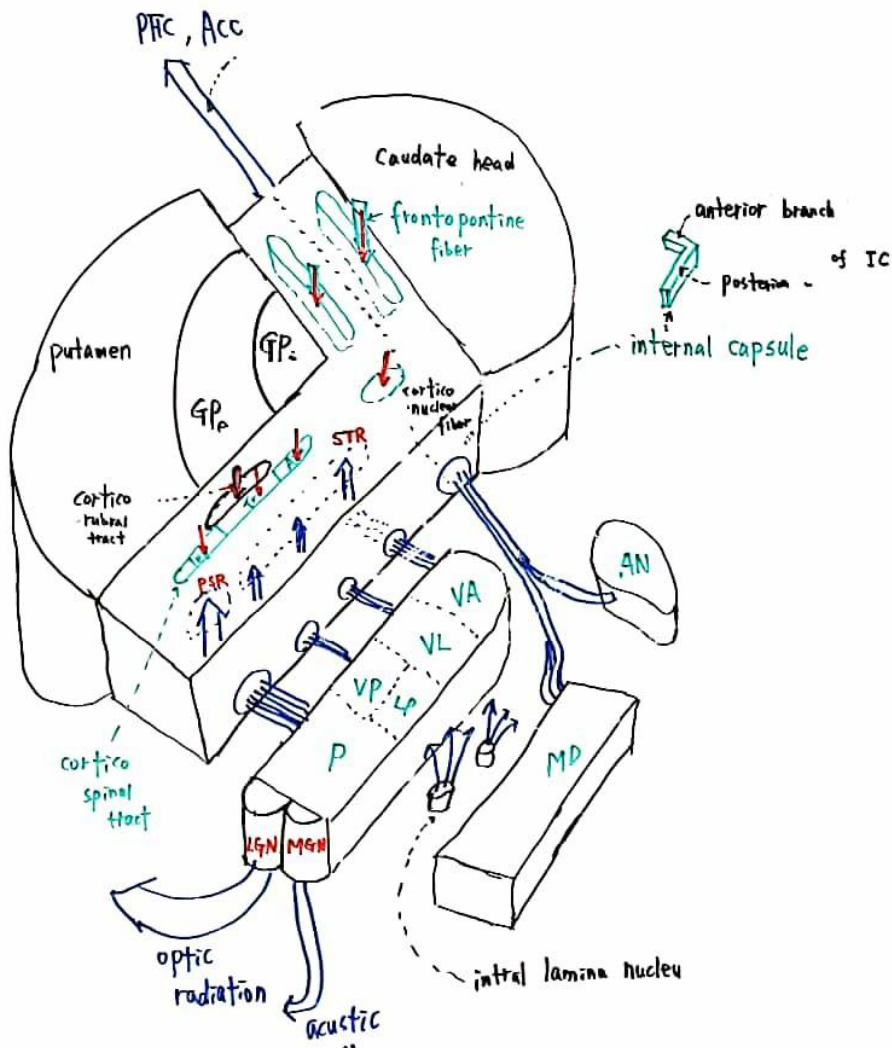
Acc가 cingulum을 통해 Pcc와 연결되고, 여기에서 세계상(conscious of external world)이 출현한다.

PFC에서 Acc로 온 정보는 NAc로 가고, NAc에서 VP로 간다. VP에서 MD로 가고 MD에서 다시 Acc를 거쳐 PFC로 간다. 이 회로가 감정의 회로인 Limbic 회로이다.

시상의 MD핵에 문제가 생기면 무 언어, 무 행동 그리고 모든 일에 무관심해 진다.

후각을 제외한 모든 감각은 시상을 통과하지만 하행 운동은 대개 시상을 통과하지 않는다.

다음은 시상에서 어떻게 시각, 청각, 체 감각이 중계 되는지 알아보자. 01:21



브레인의 핵심은 시상과 대뇌피질 그리고 해마이다.

“ㄱ”자 형태의 내낭(IC: internal capsule)을 먼저 그린다. 내낭을 둘러싸고 꼬리 핵 머리와 렌즈 핵을 그린다. 렌즈핵은 바깥에 조가비 핵(putamen)이 있고, 그 안에 GP(global pallidus)가 있다. Global Pallidus의 바깥 쪽이 GPe, 안쪽이 GPi이다.

내낭 오른 쪽에 시상을 3개 부분으로 나누어 그린다. 시상 핵들을 그린다. VA, VL, VP, LP, 그리고 Pulvinar를 그린다. Pulvinar 바깥으로 LGN과 MGN이 있다. Pulvinar 내측으로 MD 핵이 있다. MD핵은 전적으로 PFC와 커뮤니케이션한다. AN핵이 MD 핵 앞에 있다.

시상의 핵에서 대뇌 피질로 신경 다발이 나간다. VA, VL, VP, LP 핵에서 내낭 후지로 신경 다발이 들어가서 수직으로 올라와 대뇌 피질로 간다. 이 신경다발을 STR(superior thalamic radiation: 상시상 방사)이라 한다.

시각은 V1, V2, V3가 있고 두정엽 쪽으로 V3A 영역이 있다. A는 anterior를 뜻한다.

다음은 V6와 V6A가 있다. V6A는 깊이를 지각한다.

그 다음 영역이 PRR(parietal reach region)이다. 손을 뻗칠 때 사용하는 영역이다.

손을 내미는 행위는 정말로 놀랍다. 악수를 하거나, 도구를 잡거나, 비난의 손짓을 할 수도 있다. 손이 말을 한다.

손을 뻗치는 행위는 두정엽에서 대단히 중요한 역할이다.

시각의 측두엽 흐름은 V4로 간다. V4는 색깔을 처리한다. LOC(lateral occipital cortex)는 사물의 형태를 기억한다. 자동차 만드는 사람은 지나가는 자동차를 금방 안다. 조류학자는 새의 종류를 금방 파악한다. 공룡 매니아는 공룡 그림만 봐도 금새 안다.

다음은 글자를 떠올리는 영역이다. 인간 만이 가능하다. 말을 할 때 자주 쓰는 단어는 글자 모양이 보인다.

이 영역을 VWFA(visual word form area)이라고 한다. 그 앞에 사람 몸에 민감하게 반응하는 FBA(fusiform body area)영역이 있다. VWFA와 FBA를 포함하는 영역이 ITL(inferior temporal lobe)이다.

청각은 A1 영역인 PAC(primary auditory cortex)가 있다. PAC 앞에 a-STG가 있다. PAC 뒤 쪽에 p-STG가 있다.

a-STG 밑에 a-STG(anterior superior temporal sulcus)가 있다. PAC 밑에 소리의 세기와 피치를 처리하는 m-STG가 있다.

사회적 정서를 처리하는 ATL이 엄청난 면적을 차지하고 있다. 감정은 90%가 사회적 감정이다. Social 감정은 내 몸에서 오는 것이 아니라 외부로부터 듣거나 본 것에서 온다. 시기, 질투, 배신, 충성, 용맹, 칭찬 모두 사회적 감정이다. 우리는 사회적 동물이다. 누구든지 공개적 장소에서 비난하면 안 된다.

무조건 잘 해 주어야 한다. 브레인 공부에서 얻은 깨달음이다.

ATL의 핵심 부위가 TP이다. 개념을 만드는 AG와 TP가 MLF로 직접 연결되어 있다.

AG의 역할을 다시 한번 이야기 하면

1) Access to episodic memory이다.

모든 일화 기억을 참조할 수 있고, 매일 일어나는 실 생활의 기억을 모니터링 한다.

2) Self awareness가 일어난다. 내가 누군지 항상 모니터링을 한다.

여기를 건드리면 out of body 현상이 일어난다.

3) 범주화(Categorization)을 한다. concept을 만든다.

4) cross road of all sensory 즉 모든 감각이 만나는 교차로이다.

ATL 옆으로 p-MTG가 있다.

S2는 촉각의 고위피질이다. 균형감각의 연합피질은 2V(vestibular)이다. V2와 구분하기 위해 2V로 표시한다.

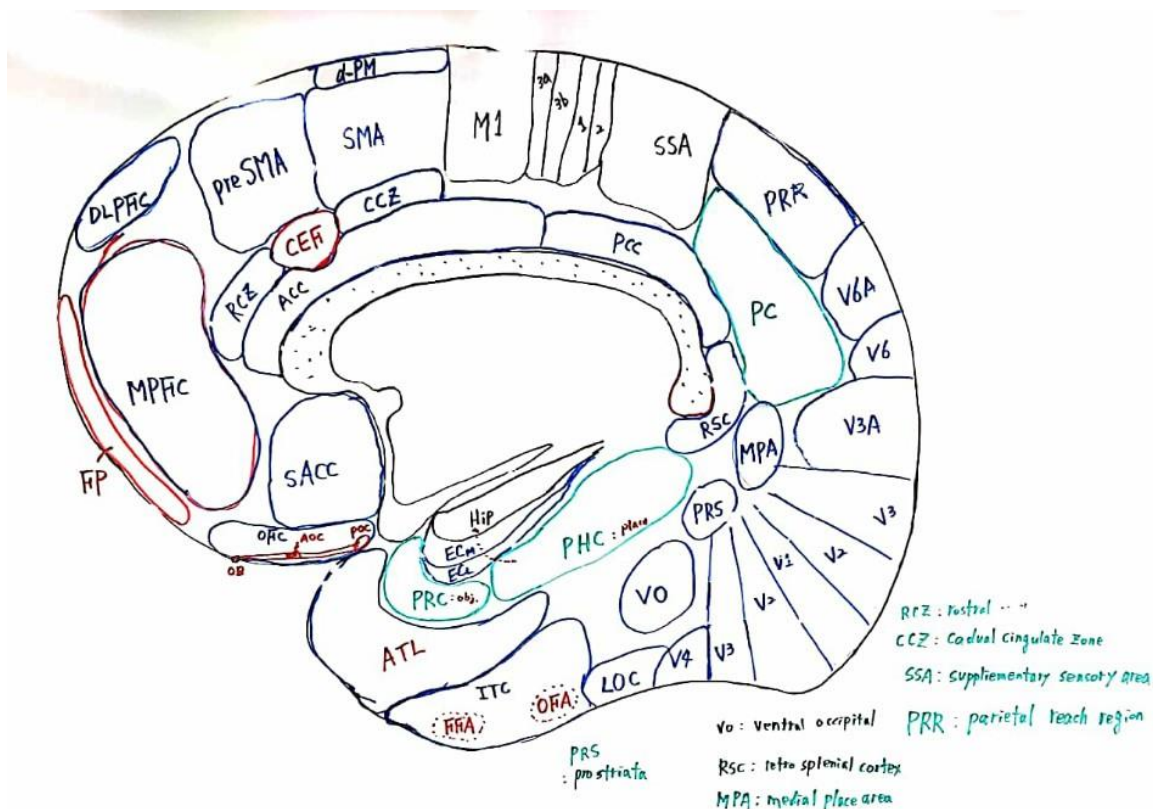
CIP(caudal intra parietal sulcus)와 AIP(anterior-IPS)는 시각의 고급 과정으로 행동을 유도한다. IPS(intra parietal sulcus) 영역이다. 말려 들어간 피질을 펼친 것이다. 주로 손 운동과 관련이 있다. 시각에 가이드 된 손 동작이다. 외부의 위협으로부터 얼굴을 보호한다. 손은 안면을 즉각적으로 보호한다. CIP와 AIP사이에 있는 영역이 시선을 먼저가게 만드는 PEF(parietal eye field)이다.

SMG 영역은 a-SMG와 SMG로 구성된다. AG 영역은 TPJ(temporoparietal junction)와 Spt(Sylvian parietal temporal)로 구성된다. EBA(extra-striate body area)는 인간의 움직임을 지각한다.

PM옆에 FEF(frontal eye field)가 있다. 눈동자 움직임과 관련된 신경 핵이다. Eye field가 브레인 속에 4군데가 있다. 얼굴에서 가장 중요한 부위가 입술과 눈동자이다. 사람 사이에 눈동자를 마주치지 않고는 일이 일어나지를 않는다. 눈동자의 길이 인간의 길이이다. 인간 이야기의 50%는 눈동자 이야기이다. 브레인이 그렇게 되어 있다. 정수리 부근에 SEF(supplementary eye field)가 있다.

Brain of brain인 DLFFC가 있다 브로드만 맵 9번과 46번이다. DLPFC 영역 안에 p-FEF(pre- FEF)가 있다. DLPFC 밑에 발음과 관련된 VLPFC가 있다. VLPFC 속에 글 쓰는 것과 관련된 EA(Exner's area)가 있다. 그리고 BrA(Broca's area)브로카 영역이 있다. 마지막으로 OFC와 FP(frontal pole)이 있다.

(2교시)



뇌의 안 쪽 그림이다.

먼저 뇌량(corpus callosum)을 그린다. 좌우 뇌를 연결하는 2억개 신경 다발을 자른 면이므로 점을 찍어 준다. 뇌량의 꼬리 부분이 뇌량팽대(splenium)이다.

시교차 상핵 밑으로 해마를 먼저 그린다.

가운데 중심이 되는 M1을 그린다. M1 옆으로 3a, 3b, 1, 2를 그린다. 옆에 SSA를 그린다.

시각은 V1을 가운데에 두고 바깥으로 V2와 V3를 그린다. V3위에 V3A, V6, V6A로 계속 된다. V6A 위에 PRR이 있다. V3에서 측두엽 쪽으로 V4, 그리고 LOC가 연결된다. ITC 속에 OFA(occipital face area)와 FFA(fusiform face area)가 있다. 둘 다 얼굴 인식에 관여한다.

뇌량 위에 Acc와 Pcc가 있다. Pcc 위에 PC(precuneous)가 있다. Acc 위에 CEF(cingulate eye field)가 있다. 감정적 눈동자 움직임(시선)을 처리한다. 대뇌 피질 속에 eye field가 4 곳이 있다. FEF, PEF, SEF, CEF이다.

CEF 앞 쪽에 RCZ(rostral cingulate zone)이 있고, 뒤 쪽에 CCZ(caudal cingulate zone)이 있다.

Pcc 끝에 RSC(retrosplenial cortex)가 연결되어 있다. 바깥 세상의 land mark에서 body 중심으로 좌표를 변환하는 영역이다.

해마를 ECm(entorhinal cortex medial)과 ECl(entorhinal cortex lateral)이 에워싸고 있다. EC는 PRC(perirhinal cortex)가 에워싸고 있다. RSC에서 온 정보는 PHC(parahippocampal cortex)와 PRC로 가고, PHC와 PRC를 통해 들어온 정보가 EC에서 PP를 통해 해마로 들어간다. PRC는 사물 정보를 처리하고, PHC는 장소 정보를 처리한다. 해마에는 장소와 사물 정보가 결합되어 들어간다. 해마는 장소에 사물을 저장한다.

우리 뇌의 기본 모듈은 3백만년 전에서 100만년 전 사이에 만들어 졌다. 최근 5만년 사이에는 우리 뇌의 변화가 없다고 보고 있다. 100만년 전에는 집도 없었고, 길도 없었고, 논, 밭도 없었다. 산, 강, 호수, 언덕, 바위, 나무 외에는 없었다. 그 바위가 그 바위고 그 나무가 그 나무 같이 보인다. 뇌는 그런 환경에서 진화해 왔다. 그런 환경에서 길을 찾아야 했다. 안전하고 먹이가 많은 곳으로 가야 했다.

기억해야 할 대상은 장소(place)와 물건(object)뿐이었다. 그래서 해마가 하는 일은 장소와 사물을 결합시키는 것이었다.

Medial view에서도 ATL이 큰 영역을 차지하고 있다.

시각과 관련된 영역이 3곳이 있다. VO(visual occipital), PRS(prostriata) 그리고 MPA(medial place area)이다.

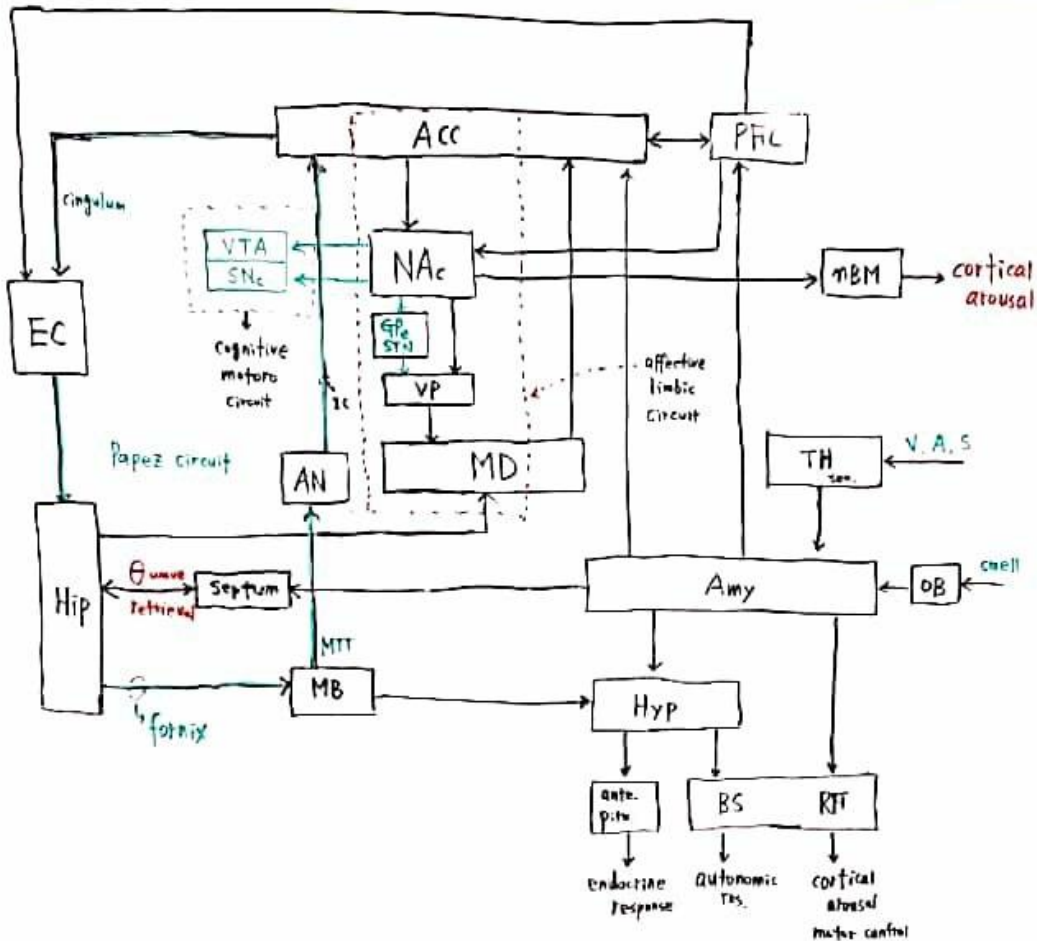
다음은 운동영역이다.

정수리 부근에 d-PM이 있다. 그 아래에 SMA가 있다. SMA는 전적으로 안 쪽에 있다. SMA 앞에 pre SMA가 있다. Genu 밑에 sAcc(sub-genu Acc)가 있다. S-Acc 밑에 OFC가 있다. 후각망울(OB: olfactory bulb)이 있고 1차 후각 피질인 POC(primary olfactory cortex)그리고 AOC(anterior olfactory cortex)가 있다.

DLPFC가 일부 보이고, 그 밑에 MPFC가 거대한 면적을 차지하고 있다. 맨 앞에 FP(frontal pole)이 있다.

이 두 그림에서 가장 중요한 정보는 면적의 크기이다. MPFC, PC, ATL 이 3 부분이 중요하다.

Default mode에서 MPFC와 PC가 함께 동작한다. Default mode에서 뇌 전체 에너지의 90%를 쓴다. 00:56



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

시작은 thalamus에서 시작한다.

계룡산에 갔다가 멧돼지를 만났다고 가정해 보자

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

sensory thalamus에서 공포 반응을 처리하는 amygdala로 간다.

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

냄새는 즉각적이다. 냄새는 감정을 촉발한다.

RF에서 분비한 신경조절물질에 의해 피질 각성(cortical arousal)이 된다.

깨어 있는 것은 공짜가 아니다. 많은 에너지가 든다.

브레인인 dual system으로 구성되어 있다.

편도체에 간 정보는 곧장 시상하부(hypothalamus)로 간다.

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

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

amygdala에서 바로 BS(brain stem)으로도 간다. BS는 뇌간이다. 뇌간에는 RF(reticular formation)이 있다.

BS에서 척수를 통해서 autonomic response가 일어난다. RF는 상행 의식, 하행 운동을 조절한다.

RF에서는 cortical arousal과 motor control이 일어난다.

놀란 장면을 보았을 때 항상 일어나는 반응이다. 선택할 수 없는 조건반사이다.

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 상황이 끝나면 정확한 상황 판단을 위해 편도체에서 대뇌 피질(PFC)로 보고한다.

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

그래서 편도체에서 PFC로 직접 보고 할 수 있다.

다음으로는 편도체에서 전 대상회(ACC: anterior cingulate cortex)로 보고한다.

PFC와 ACC는 다중으로 연결되어 있다.

ACC에 온 정보는 EC(entorhinal cortex: 내 후각 뇌 피질)로 간다. PFC에서도 EC로 정보를 보낸다.

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 보상과 쾌감의 중추이다. NAc가 salience를 만든다. Salience는 중요함이다.

NAc에서는 VP(ventral pallidum)로 보내고 VP에서 다시 MD로 보낸다.

간접회로로서 NAc→ GPe/STN→ VP를 통해 MD로도 간다.

PFC에서 NAc로 간다. 그러면 NAc가 nBM(nucleus basalis of Meynert)을 자극하고 nBM에서 아세틸콜린(Ach)이 나와 피질 전체를 활성화(cortical arousal) 시킨다. 깨어 있는 것은 공짜가 아니다.

이것이 감정회로(Limbic circuit)이다. 놀란 가슴이 식을 때까지 계속 이 loop가 돌아간다.

브레인 70% 정도가 회로이다. 멈출 수가 없다. 멈출 수 없는 것이 중독이다. 미치는 것이다. 미쳐야 미친다.

중독 정도 되어야 기억이 된다. 기억은 그냥 되는 것이 아니다.

감정의 특징은 멈출 수 없다. 감정은 명령을 받지 않지만 영향은 받는다.

VTA와 SNc가 NAc와 연결되어 있다. 여기에서 cognitive와 motor circuit이 이루어 진다.

테니스 게임을 하면 나의 기술(motor)이 좋아야 하고, 상대의 전략(cognitive)을 알아야 하고 무엇보다도 승부욕(affective)이 있어야 한다. 인간이 하는 행동은 감정회로, 인지회로, 운동회로가 동시에 돌아 간다. 가장 중요한 것은 감정회로이다. 욕망이 있어야 한다.

해마에서 MB(mammillary body: 유두체)로 간다. MB에서 한 가닥은 시상하부로 가고, 또 한 가닥은 AN(anterior nucleus: 시상전핵)으로 간다. AN에서 다시 ACC로 간다. 이 회로(해마- MB- AN- ACC- EC- 해마)가 기억 회로인 파페츠 회로이다.

내낭 전지(anterior branch of internal capsule)를 통해 AN에서 Acc로 신경 다발이 지나간다. Acc에서 cingulum을 통해 EC로 간다. 수고하셨습니다.

(PPT 강의는 동영상을 참고 하시기 바랍니다.)