

(박문호 박사님의 제 10회 특별한 뇌과학 1강을 녹취한 내용입니다)

.10년 짜 특별한 뇌 과학 강의 입니다.

10년차이므로 많은 뇌 과학 내용 중에서 가지를 치고 핵심만 정리하여,

여러분들이 들고 다니면서 써 먹을 수 있도록 정리해 보려고 한다.

운동하면 무엇, 편도체 하면 무엇 이렇게 나올 수 있도록 해야 한다.

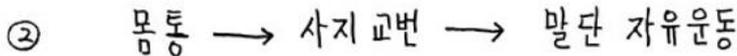
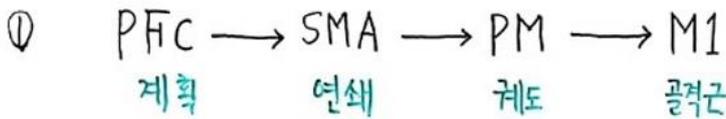
대부분의 브레인 기능들이 각 영역별로 다 기능이지만

그러함에도 불구하고 몇 가지 특징적인 것은 여러분들이 기억해야 한다.

먼저 운동에 대하여 하겠다.

뇌 과학적으로 운동이 무엇이냐고 물으면 참으로 긴 이야기이다.

하지만 조금 핸디하게 해 보겠다. 운동하면 이것만 기억하면 된다.



운동에 대하여 알아야 할 첫 번째 지식. .

운동의 순서는 PFC→SMA→PM→M1이다.

PFC는 뭔가를 하겠다는 생각이 생기는 곳이다. 운동계획을 하는 곳이다.

운동계획 없이 하는 운동은 반사이다. 마음 속으로 하는 운동 계획은 생각이다.

생각도 운동 계획이다.

다음은 SMA(보완운동 영역)에서 운동할 내적 디자인을 만든다.

운동을 위한 여러 근육들의 연쇄작용(Sequence)을 촉발한다.

SMA에 이상이 생기면 모든 의도된 행위 자체가 의욕이 생기지 않는다.

무언가를 해야 한다(문을 닫아야 한다)는 생각은 있는데 의욕이 생기지 않는다.

뇌 과학적으로 일련의 운동의 sequence가 촉발되지 않는다.

운동은 내부운동과 외부 운동이 있다. 내부 운동의 대표적인 것이 말하기 이다.

말하기는 전적으로 내적 동기에 의한 운동이다.

SMA가 관여 되는 운동 중에 중요한 것이 말하기, 몸의 자세(posture) 등이다.

PM은 궤도이다.

PM(premotor area)은 외부 자극에 대한 신속한 반응을 처리하는 운동 피질이다.

돌이 얼굴을 향해 날아 오면 피해야 한다. 목적지를 향해 이동해야 한다.

외부 자극에 대응하기 위해, 근육들의 sequence가 궤적을 이룬다.

운동 신호의 마지막은 골격근이다.

골격근(뼈에 붙은 근육) 만이 내가 의도한대로 내 몸의 움직임을 만든다.

계획을 100가지 잡으면 운동으로 나가는 것은 2-3가지 밖에 안 된다.

운동에 대하여 두 번째 알아야 할 지식은 운동의 진화 과정이다.

운동은 어떻게 진화해 왔는가?

몸통운동→교번 운동→ 말단 자유 운동

몸통운동은 몸 전체가 움직인다.

사지 교번 운동은 팔 다리가 교번으로 alternative하게 움직인다.

호흡이 널 숨, 들 숨, 팔이 앞으로 뒤로 움직이는 것 등이다.

말단 자유 운동은 피아니스트의 손가락 움직임, 축구 선수의 드리블 같은 운동이다.

이번에 호주 여행 중 한가지 생각을 집요하게 스스로에게 질문을 해 보았다.

1.“우리는 무엇을 기억하는가?”

3일 째 쯤 질문을 바꾸어 보았다.

“뇌 과학에서 인간 전체를 설명할 수 있는 기능은 무엇인가?”

그러자 우리가 아는 브레인 지식을 전부 동원해야 설명되는 큰 덩어리가 있었다.

바로 “행동”이다.

2. “우리의 행동은 무엇인가?”

행동은 일상적인 용어지만 매우 강력하고 포괄적인 용어이다.

행동은 언어, 생각, 계획, 기억, 운동, 욕구, 감정 모든 것을 포함한다. 종합적이다.

운동회로, 인지회로, 감정회로 모두를 포함한다.

핵심은 그 3가지 회로의 비율이다. 인간에게는 인지회로(행동의 계획)의 비율이 압도적으로 많다.

3. 왜 인간은 그렇게 달라 졌는가.

동물과 인간의 인지 기능이 이렇게 차이 나는 이유가 무엇일까?

인간 만이 갖는 유니크한 것이 있다.

결정적 차이는 일화 기억이다.

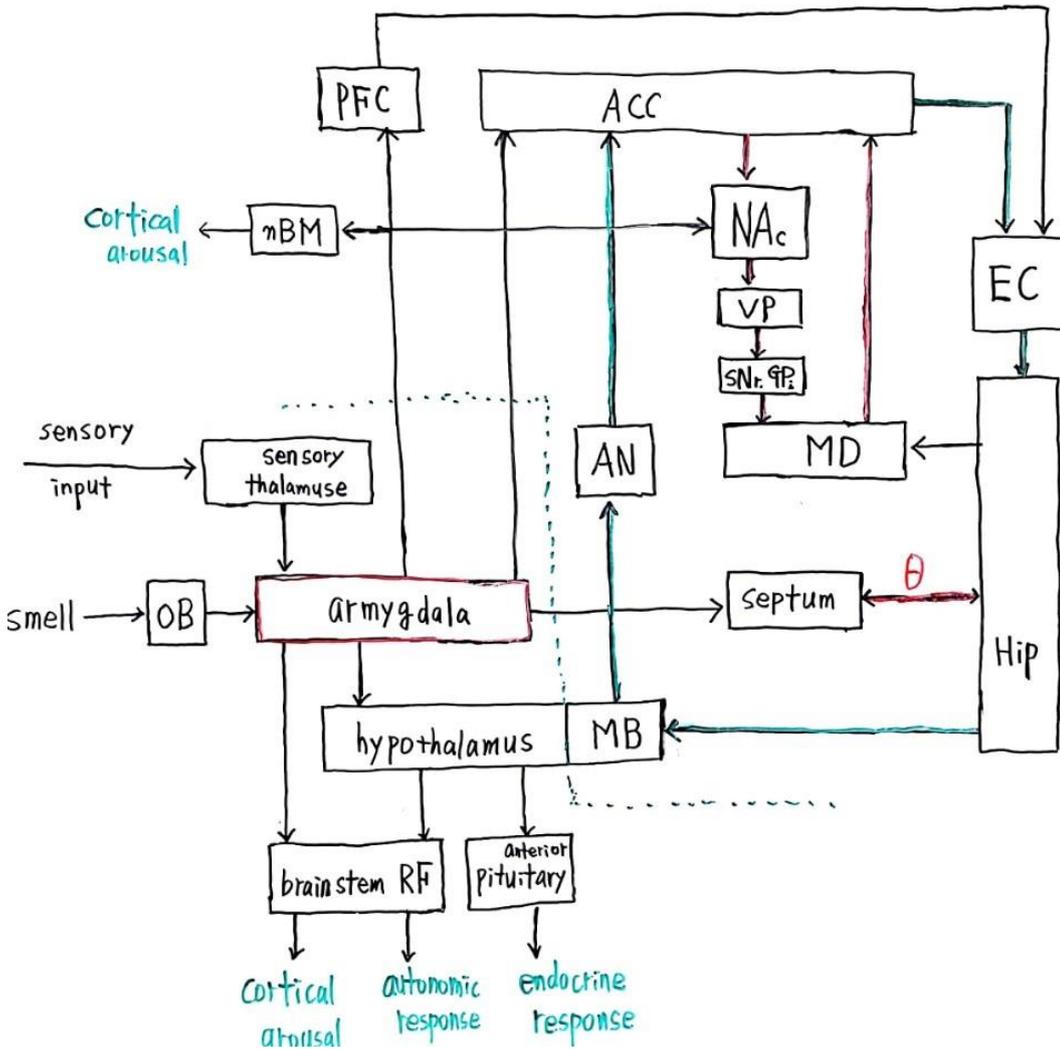
동물은 일화 기억이 거의 없다. 그래서 동물들은 어제 일어난 일을 참조하지 못한다.

그래서 계획을 못한다.

그러면 행동의 과정을 살펴 보도록 하자.

이 도표를 완전히 이해하면 뇌 과학의 웬만한 것은 이해할 수 있다.

북한산에 갔다가 곰을 만났다고 가정해 보자



곰을 본 감각 sensory input(시각, 청각, 촉각)은 sensory thalamus로 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 시상하부(hypothalamus)로 간다.

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

그리고 또 한 라인으로는 편도체에서 곧장 브레인시스템으로 간다.

브레인시스템 RF에서 나오는 결과가 먼저 피질 각성(cortical arousal)이고 다음이 자율신경 반응(autonomic response)이다.

cortical arousal은 머리가 쭈뼛하고 등골에 식은 땀이 난다.

Autonomic response는 일단 도망치는 것이다.

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

이상이 놀란 장면을 보았을 때 일어나는 반응이다. 심하면 외상증후군도 나타난다.

인간에게도 당연히 나타나고 동물은 전적으로 이 시스템이다.

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

먼저 PFC이다.

편도체의 세계적 권위자는 조세프 르두 이다. "시냅스와 자아", "느끼는 뇌" 등의 저서가 있다.

편도체는 피질 일부가 떨어져 나와 백질 속에 섬처럼 있는 것이다.

조직 형질적으로 PFC와 비슷하다.

편도체에서 PFC로 직접 보고 할 수 있다는 것은 서로 사촌 정도된다는 것이다.

다음으로는 전 대상회(ACC)로 보고한다.

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: 내후각 뇌 피질)로 간다.

EC에서 Hippocampus로 간다.

해마에서 MD로 가면 MD에서 다시 ACC로 보낸다.

ACC에서 NAc(측좌핵)로 보낸다. NAc에서는 VP(ventro pallidus)로 보내고 VP에서 SNr과 GPi를 거쳐 다시 MD로 보낸다. 이것이 Limbic loop이다. 세가지 loop중 하나이다. 놀란 가슴이 식을 때까지 계속 이 loop가 돌아간다.

그 시간이 10-20분 걸릴 수도 있다.

공부 잘하는 사람은 감정이 풍부하다. 놀람 반응이 자주 나와야 한다. 놀람 반응이 없는 사람은 엑센트가 없는 사람이다. 멍한 사람이고 판단력이 흐리다. 가까이 하면 안 좋다.

공부하는데 정답은 있다.

30년도 아니고 1년도 아니다. 학문의 방법론은 비슷하다. 눈에 불을 켜고 해야 하는 시기도 있다.

때로는 바깥 경치를 보면서 객관적으로 내가 공부했던 모든 것을 올려 놓고 내가 무엇을 할 수 있고 어떻게 설명할 수 있는지 물어 보아야 한다.

공부를 한다는 관점에서 예를 하나 들면 더운 지역에 가면 palm tree가 있다.

모두 높은 나무기둥이 깨끗하게 정리 되어 있고 가지는 꼭대기에만 있다.

어떻게 저렇게 잘 정리 정돈 했을까?

공통적인 것이 계속적으로 나타날 경우에는 스스로에게 묻고 가설을 세워봐야 한다.

그리고 그 가설이 잘못되었으면 다른 가설을 세운다.

palm tree는 누가 정리한 것이 아니라 가지가 스스로 떨어진 것이었다. 팜 트리 줄기를 보면 매끈한 것이 아니다.

가지가 떨어진 곳에 관다발 자욱이 나 있었다. 직접 확인해 보아야 한다.

유레카는 있다. 직접 확인해 보지 않으면 전문가가 되기 어렵다.



SNr과 SNc가 있다. SNc에서는 도파민이 나오고 SNr에서는 GABA가 나온다.

GABA가 계속 나와주기 때문에 우리는 눈동자를 한 곳에 고정할 수 있다.

파킨슨 병은 계속 손발을 떤다. VL에 주기적 흥분이 일어나면 손을 떨게 된다.

알아야 한다. 브레인 과학으로 인간의 정신 작용을 설명하겠다는 것은 적어도 브레인 파트 30개 이상의 기능을 정확히 알아야 한다.

놀란 가슴이 진정되고 나면 비슷한 옛날 기억이 떠오르고 링크되게 된다.

그러면 기억을 불러오게 된다.

새로운 기억은 기억을 불러오는 곳과 연결된다. 편도체에서 Septal area와 연결한다. Septal area는 해마와 연결되어 있다. Septal area 와 해마가 연결되어 기억을 인출할 때 나오는 웨이브가 세타파이다. 약 7Hz이다.

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.

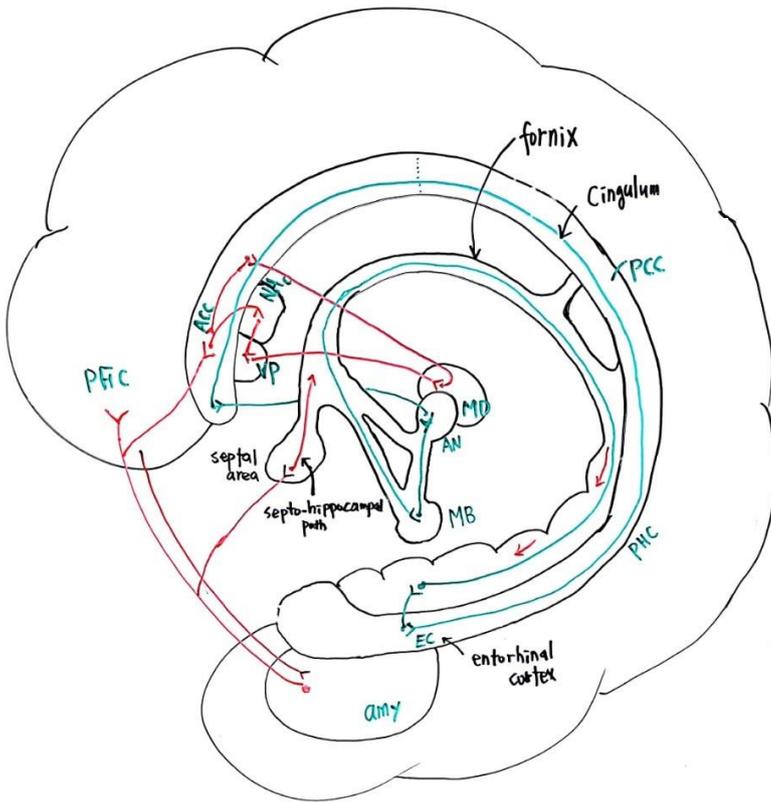
기억을 인출할 때 나오는 것이 세타 웨이브이다.

그러면 신문에 난 멧돼지 기사와 오늘 내가 북한산에서 본 멧돼지가 링크된다.

그것이 바로 기억을 만든다는 것이다. 만들어진 기억을 저장하기 위해 해마에서 MD핵으로 보내고 MD에서 AN(시상 전핵)을 거쳐 다시 ACC로 보낸다.

그 과정에 NAc에서 nBM을 자극하고 nBM에서 아세틸콜린을 분비하여 대뇌피질을 각성(arousal) 시킨다.

실제로 브레인을 그려서 표시해 보자.



앞의 다이어그램과 이 그림을 10번씩 그려 익숙해 져야 한다.(동영상 참조)

기억을 만드는 회로를 파페츠회로라고 한다.

먼저 hippocampus에서 시작하여 MB로 가고 이어서 AN으로 가고 AN에서 ACC로 간다.

ACC에서 EC로 가서 다시 hippocampus로 간다. 이것이 파페츠회로이다.

기억의 저장은 옛 기억과 연결 시키는 것이다.

기억이 왜 중요하지?

기억이 없으면 어떻게 될까?

지난 10여일 동안 호주에서 산호섬에도 가고 사탕수수 밭에도 가고 야영도하고 공룡발굴지에도 가고 했는데 만약 기억을 못한다면 어떻게 될까? 모두 도루묵이 된다.

내가 한 일을 기억하지 못한다면 어떤 일이 벌어질지 깊이 한번 생각해 보라.

기억이 없어도 변하지 않는 것이 있다. 양치질하고 샤워하고 운동하고 밥 먹는 것은 할 수 있다.

기억이 없어도 살 수 있다. 일상 생활은 다 할 수 있다.

지금 이야기하고 있는 것은 일화기억이다.

의미기억이 아니다 의미 기억이 없으면 글도 못 읽고 밥을 어떻게 먹는지 잊어버릴 수도 있다.

어제, 일주일 전, 한달 전, 1년전, 10년 전 기억이 없으면 의미가 없어진다.

H.M(헨리 몰레이션)이란 환자는 27세에 양쪽 해마를 건어 낸 후 그 후부터 기억 없이 살았다.

옛날 기억은 있었다. 그러나 새로운 기억이 생기지 않았다.
일상 생활은 문제 없었다. 그러나 감정이 없고 애착이 없었다. 따라서 인생의 의미가 없었다.
의미가 없어도 살 수 있다. 개나 고양이 같은 짐승들도 의미 없이 살아간다.
기억이 없으면 본능적인 것 외에는 애착이 생기지 않는다.
기억이 없어도 먹거나 잠자거나 할 수 있으며, 나에게 해를 가하면 화도 낸다.

기억이 없으면 내 현재가 붕괴 된다.
현재는 모든 과거의 총화이다. 현재는 존재하지 않는다.
현재는 과거라는 거대한 물결의 맨 앞 라인이다. 그 많은 과거 기억의 끝 단이 오늘이다.
오늘을 구성하는 요소는 과거의 모든 것이다.
그것이 의미이다.
과거 밖에 없다. 과거 전체가 기억이다.
기억이 없으면 과거가 붕괴되고 그러면 현재도 없는 것이다.

전두엽 기능이 약해지면 추상적 사고가 사라진다. 목적 지향성이 없어진다.
한마디로 멍한 사람이 된다. 멍한 사람은 감정의 증폭이 되지 않는다.

편도체의 여러 기능 중 가장 마음에 드는 것은 감정 증폭기이다.

사람마다 감정의 볼륨 맥시멈이 다르다.
또한 편도체는 전두엽이 지각한 사건의 강도, 그리고 그것에 대한 가치를 평가해서 그것을 구현해 준다.
지각의 강도와 가치를 담당한다.

오늘의 주제는 행동이다. 행동을 설명할 수 있어야 한다.
우리는 어떻게 행동하게 되었을까. 인간 행동은 무엇으로 구성되어 있는가.
3가지가 있다. Limbic, cognitive, motor 회로이다.
행동은, 감정회로, 인지회로, 운동회로 3가지로 구성되어 있다. 이 전체 회로의 출발점이 편도체이다. 편도체가 지각의 강도와 가치를 결정하기 때문이다.
멍한 사람의 특징은 가치를 부여하지 못한다. 감동도 없다. 화를 잘 내지 않는다.

세계적으로 크게 이룬 사람들의 특징이 약간의 조증이 있다는 것이다.
대 기업 오너나 높은 지위에 올라간 사람들은 대부분 화를 잘 낸다.
가슴 속에서 흑하고 올라오는 것이 없으면 크게 되기 어렵다.
반면에 그런 사람은 제어 장치가 좋아야 한다. 타고난 용량(배기량)이 크고, 엄청난 학습을 하게 되면 언제든지 제어할 수 있다. 그러면 큰 일을 할 수 있다. 로켓처럼 우주로 나갈 수 있다.
펌프 역할을 하는 것이 아미그달라이다. 강한 힘으로 이 전체 회로를 돌린다. 감정의 증폭기이다.

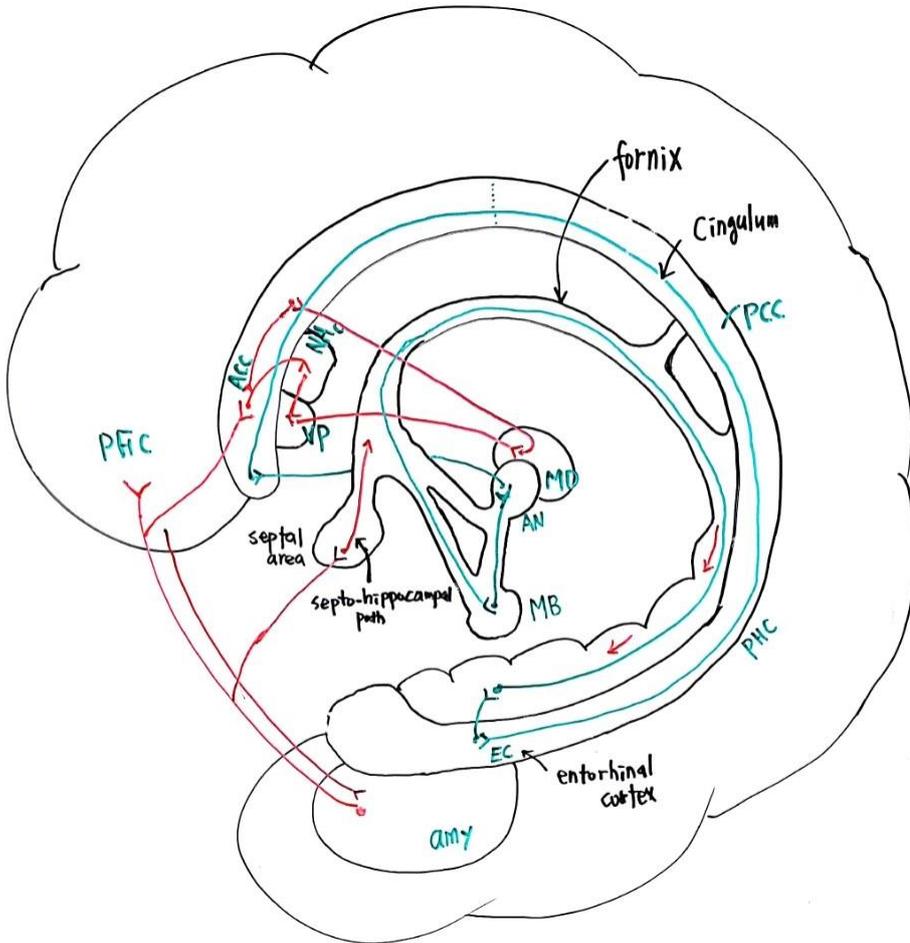
일을 도모할 때에는 주위에 신중한 사람을 두면 안 된다. 일을 벌릴 때 방해가 될 수 있다.

일단 저지르고 난 후에는 신중한 사람이 마무리해야 한다.

놀라워하는 사람과 함께하고, 멍한 사람은 가까이 하지 말아야 한다.

멍한 사람은 판단력이 흐리다.

이어서 기억회로가 작동한다.



<박문호 박사의 뇌 과학 공부387쪽, 그림 8-14 해마의 신경회로 참조>

편도체에서 전두엽(PFC)으로 신호를 보내고, 결가지가 전 대상회(ACC)로 신호를 보낸다.

ACC는 정서와 인지를 결합해 주고 내장과 연결되어 있다.

PCC는 청각과 촉각을 연합해 준다.

ACC에서 NAc(nucleus accumbense)로 간다. NAc는 중독 중추이다.

NAc는 salience를 생성하는 곳이다.

Salience는 중요성을 말하는데 중요성은 두 가지 구성 요소로 되어 있다. 새로움과 의미이다.

새로움에는 남녀노소 모두 끌린다. 어른 들은 새롭지 않아도 한다. 의미가 있기 때문이다.

의미가 있기 때문에 에베레스트 산을 오르고 남극에 간다. 어떤 침팬지도 등산을 하지는 않는다.

인간은 의미가 있으면 목숨까지도 버린다. 이것이 호모 사피엔스가 갖는 가장 놀라운 특징이다.

그러나 고등학생 정도 까지는 어렵다. 의미는 함부로 생성 되는 것이 아니다.

유형은 새로움만 쫓는 것이다.

의미를 추종하는 사람이 성직자, 산악인, 수학자 들이다.

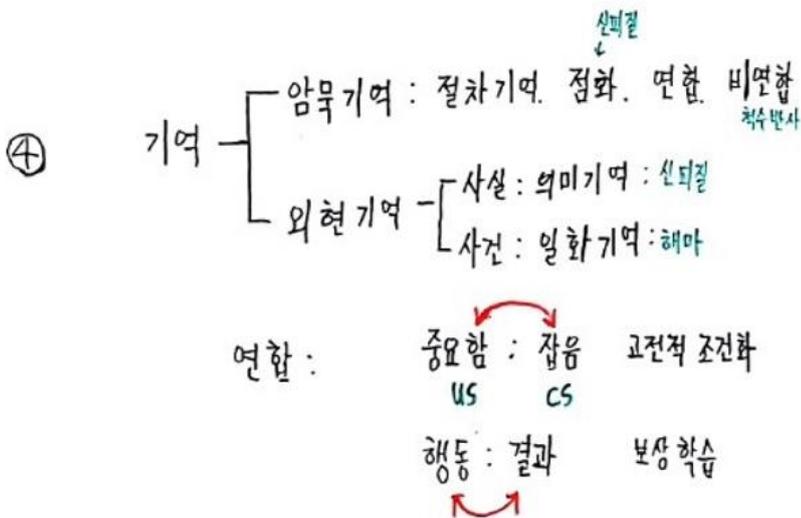
이 중요성이 salience이다. 정신분열증 환자들은 이 salience가 붕괴된 사람들이다.

NAc에서 VP로 가고 VP에서 MD로 간다. 그리고 MD에서 다시 ACC로 간다.

이 회로가 흥분하고 의미를 아는 회로이다. 보상회로이며 중독회로이다. (그림의 붉은 색 선)

(2교시 02:00)

네 번째 기억의 종류이다.



장기 기억은 암묵 기억과 외현 기억이 있다.

암묵 기억은 절차 기억, 점화 기억, 연합, 비 연합 기억이 있다.

점화 기억은 기억의 단서를 제시하면 즉시 기억이 확실해지는 현상이다.

과일 중에서 "토"자로 시작하는 것은? 했을 때 토마토가 떠오르는 것과 같은 것이다.

점화 기억에는 지각의 점화와 개념의 점화가 있다.

개념의 점화는 무엇인지 말로 표현은 안되지만 당신이 이야기하는 것이 이런 것 아니냐 라고 할 때 떠오르는 개념이다. 점화 기억은 신 피질에서 일어난다.

그래서 해마가 없던 환자 H.M도 점화 기억이 가능했다.

강의를 많이 듣고, 책도 많이 읽고 공부도 많이 했는데 실력이 늘지 않는 이유는

집에 옷이 많이 있어도 옷걸이가 없어 쌓아 두어 외출할 때 입을 옷이 없는 것과 같은 모습이다.

그래서 여러분에게 옷걸이를 제공해 주려고 한다. 옷걸이가 프레임이다.

프레임이 있어야 그 곳에 지식을 걸 수가 있다.

암묵 기억이 절차, 점화, 연합, 비 연합으로 구성되어 있다는 것이 프레임이다.

연합에는 두 가지가 있다. 뇌 과학에서 연합은 association이다.

먼저 중요한 것(중요함)과 중요하지 않은 것(잡음)의 연합이다.,

유명인과 같이 사진을 찍으려고 하는 심리와 같다.

중요한 사람(유명인)과 짝을 지으면 자기도 유명해 질 것이라 생각한다.

중요한 것은 무조건적 자극(US: unconditioned stimulus)이고 중요하지 않은 것은 조건적 자극(CS: conditioned stimulus)이다. 파블로프 실험에서 개에게 고기 덩어리는 US이고 종소리는 CS이다.

고기(US)를 줌과 동시에(right time, right place) 종(CS)을 울리면 고기와 종소리가 연합된다.

몇 번 계속되면, 종소리만 들어도 개는 침을 흘리게 된다. 이것이 고전적 조건화이다.

다음은 행동과 그 행동에 따르는 결과의 연합이다.

좋은 행동과 칭찬, 나쁜 행동과 벌의 연합이다. 이것이 도구적 조건화이다.

이것이 보상 학습(reward learning)이다.

선조체에 이상이 생기면 보상적 학습이 이루어 지지 않는다.

파킨슨병은 선조체 이상으로 생기는 병이다.

인간은 자신이 행한 행동의 결과를 보고 행동을 수정한다.

그러나 파킨슨 병 환자는 자신의 행동 결과(부자연스런 행동)를 보고도 수정이 되지 않는다.

외현 기억은 사실기억과 사건 기억이 있는데

사실기억이 의미 기억이고 사건 기억이 일화 기억이다.

의미기억은 신 피질, 일화 기억은 해마가 담당한다.

기억의 저장은 옛 기억의 인출을 필연적으로 수반한다.

멧돼지를 보면 그 사건과 유사한 사건을 불러 온다.

얼마 전 뉴스에 도시에 멧돼지가 출현했다던 뉴스가 생각 날 수도 있다.

그기에 지금 내가 본 멧돼지 사건을 같다 붙인다.

이전 기억을 불러와 옆에 붙인다. 기억이 확장된다. 경험이 확장 된다.

기억의 확장을 위해서는 습관 회로를 stop해야 한다.

경험회로는 thalamo, cortical, serial, 회로이다.

새로운 경험을 위해서는 습관적 회로를 stop해야 한다. 이것을 stop하는 기관이 해마이다.

새롭다는 것은 옛 것과 비교해 보아야 한다. 옛 것을 기억하는 곳이 해마이다. 그래서 해마는 새로운 것이 들어 오면 바로 옛 것과 비교한다. 옛 것과 다른 것이 새로움이고 novelty이다.

새로운 것이 들어오면 해마는 선조체에 stop 명령을 내린다. 습관반응은 선조체가 담당한다.

선조체가 습관 회로를 중단 시키면 전두엽부터 시작하여 새로운 것을 받아 들일 수 있는 회로가 생긴다.

기억은 저장 장소가 다르다.

기억의 저장은 옛 기억의 인출을 동반한다. 옛 기억의 고리에 새로운 기억을 건다.
그러면 기억이 확장된다.
경험에서 배운다는 것은 옛 날 경험을 불러오는 것이다. 옛 날 기억에서 배운다.
옛 기억이 없으면 기억하기 어렵다. 그래서 학습해야 하는 것이다.

옷걸이가 없으면 새로운 옷도 걸 곳이 없다.
기억은 부익부, 빈익빈이다.
기억이 많은 사람은 기억이 잘 되고, 기억이 없는 사람은 대부분 잊어 버린다.
새로운 기억은 옛 기억을 통과하므로 옛 기억이 없으면 기억하기가 어렵다.

기억이 없으면 어떻게 해야 하나?
알파벳이나 자전거 배울 때처럼 반복을 통해서 말뚝을 박아야 한다. 절차 기억이다.
Just do it! 새로운 것은 묻지 말고 그냥 해야 한다. 반복해서 절차기억화 해야 한다.
말뚝을 박아야 한다.

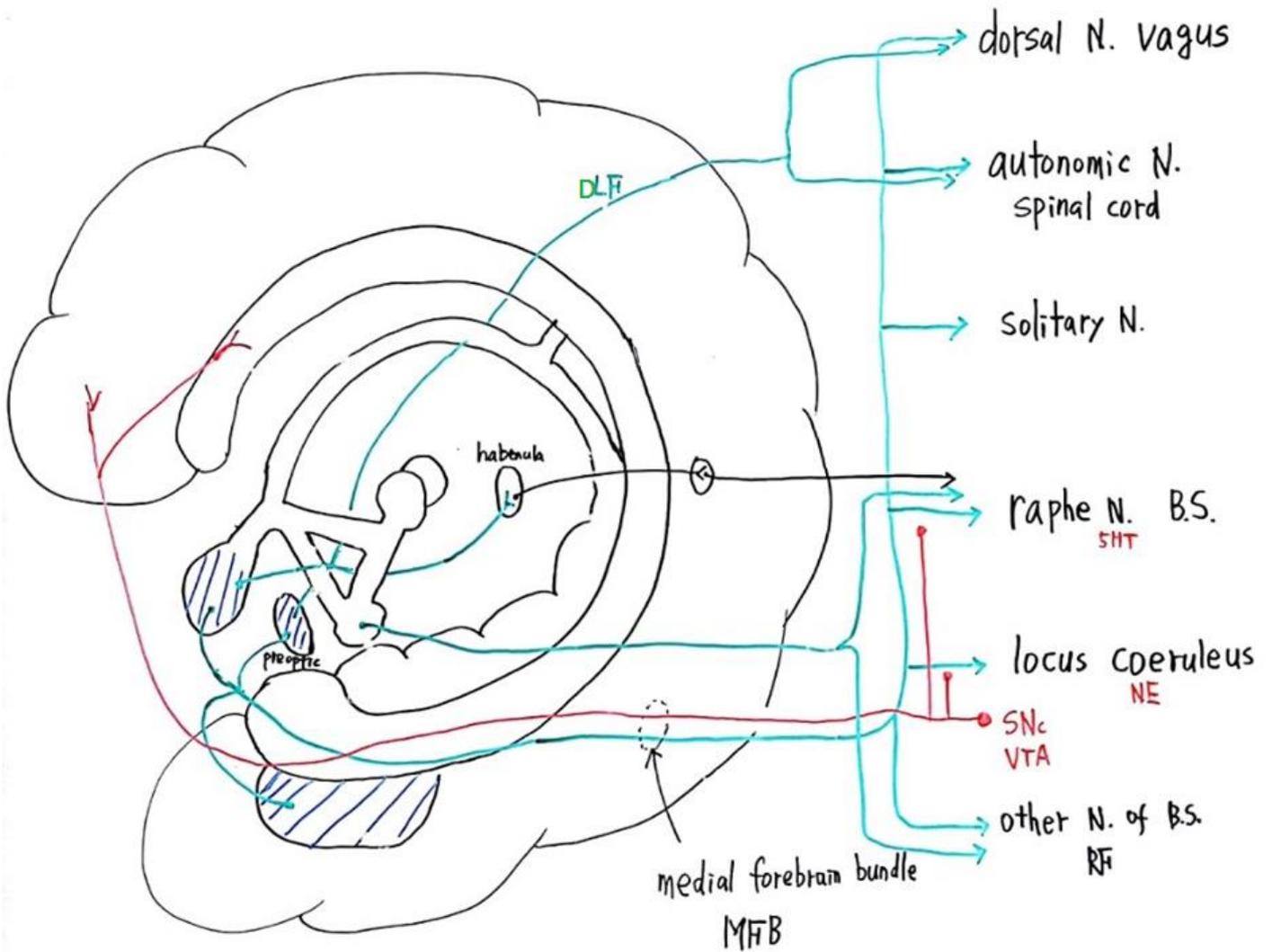
새로운 기억을 저장하기 위해서는 이전 기억을 불러 와야 한다.
이전 기억을 불러 올 때 세타파가 나온다. 해마에서 나온다. CA1, CA3 뉴런의 동시 발화이다.
이전 기억에 대한 요청은 전두엽에서 한다.
옛 기억을 불러 오면 그곳에 새로운 기억을 부가한다.

기억 저장 회로는 Hippocampus에서 시작한다.
먼저 fornix를 타고 MB(mammillary body, 유두체)에 간다.
MB에서 AN(시상 전핵, anterior thalamus)으로 가고 AN에서 ACC로 간다.
ACC에서 PHC(parahippocampal cortex)를 거쳐 EC로 간다. EC에서 Hippocampus로 간다.
이 초록색 회로가 기억 저장 회로인 파페츠 회로이다.

amygdala와 septal area가 연결된다.
Septal area는 septo-hippocampal pathway에 의해 hippocampus와 연결 되어 있다.
그래서 우리의 기억은 전적으로 감정을 동반한 기억이다.

여섯 번 째

내측 시상 증후군: MD와 ILN(시상수질판내핵)에 문제가 생기면 기억 상실, 무 관심, 무 언어 현상이 일어난다.
그리고 작화증이 생긴다. 끊임 없이 이야기를 지어 낸다.



<뇌 과학 공부 250 쪽, 그림 5-16 변연계 참조>

Amygdala, septum, POA(Preoptic area)에서 나온 뉴런이 합해져서 6군데로 간다.(그림 참조)

고립로 핵은 내장 감각의 통합 중추이다. 압력, 혈압, 맛 등을 관장한다.

솔기핵(raphe N.)에서는 세로토닌(5HT)이 나온다. 청반핵(locus coeruleus)에서는 NE(노르아드레날린)이 나온다.

SNc와 VTA에서는 도파민이 나온다.

솔기핵과 청반핵 그리고 SNc와 VTA에서

한꺼번에 PFC와 ACC로 신경전달 물질(5HT, NE, DA)을 보낸다. 게임 끝이다.

이것을 이해하면 공부 방법을 물을 필요가 없다.

이것이. MFB(medial forebrain bundle)이다. 욕망의 하이웨이 중독의 하이웨이이다.

그리고 POA에서 미주신경 등쪽 운동핵과 척수 자율 신경핵으로 나가는 신경 섬유 다발이 있다.

DLF(dorsal longitudinal fasciculus)라고 한다.

MB에서 raphe와 기타 그물형성체로 나간다.

그리고 septal area에서 habenula(고삐핵)와 각간핵을 거쳐 raphe로 가는 신경 다발이 있다.

기억은 몸에 심어져 있다. 감동도 몸에 심어져 있다.
예측이 깨어 질 때 도파민이 나온다.
예측이 깨어 지면 놀람 반응이 나오고 감동이 일어난다.
예측이 깨어 지면 자각이 되고 attention, 주의 집중하게 된다.
예측을 많이 하면 웬만한 것에는 놀라지 않는다. 뻔하기 때문이다

기억은 몸에 심어져 있다.
감정도 몸에 심어져 있다.
그래서 새로운 것을 알게 되면 온몸이 떨린다. 전율하게 된다. 집요하게 생각하면 전율이 일어난다.
전율하지 않으면 학습이 아니다. 집요하게 생각하다 보면 어느 날 확 뚫리는 것을 느낀다.
그러면 더 이상 헛갈리지 않는다. 확실해 진다.

융합적 사고가 가능해 진다. 단선적이지 않다.
단선적인 사람은 하나는 알고 둘은 모른다.
대개 젊은 사람들이 단선적이다.

인간의 의식은 분산적이고 또 일원적이다.
백치는 value가 없다. 맹한 것이다. Value는 분산적이고 통합적이다.
분산적이고 통합적인 것의 가장 좋은 예가 비행기이다.
엄청나게 많은 프로세서가 있으면서 그것들이 모두 통합되어 있다.
인공 위성도 부품이 1만개가 넘으면서도 모두 통합되어 있다.

우리의 의식도 매 순간 분산적이면서 통합적이다.
단선적이지 말자. 논쟁은 단선적인 사람들 사이에서 일어난다. 하나는 알고 둘은 모른다.
단선적인 경우가 일원적이라고 하며, 그것을 종교에서는 근본주의나 원리주의자라고 한다.
알면 함부로 하지 못한다. 세상은 복합적이고 융합적이다.
브레인적으로 성숙하다는 것은 단선적인 것을 피해 간다는 것이다.
브레인적으로 성숙한 사람은 회색지대를 안다.
"그러함에도 불구하고" 자연은 단선적이지 않다. 자연은 항상 인간의 상상을 넘어선다.

도표에서 amygdala 아래 부분은 단선적이다.
위 부분은 회로이고, 회로 속에서 회로가 돌아간다.
살아야 하므로 먼저 신속한 행동을 필요로 한다.
그 후에 복잡한 과정을 거쳐 후속 조치를 하게 된다.

후속 조치를 통해서 인간은 후회하게 된다.

후회가 필요하다. 후회와 참회를 통해서 인생이 바뀐다. 후회와 참회는 위대한 발상의 전환이다.

후회는 한꺼번에 오는 것이 아니라 오랜 시간이 걸린다. 후회하고 사과하면 행동이 점진적으로 바뀐다.

뇌 과학이 우리를 자유롭게 해 준다.

바뀌지 않는다는 말도 맞고, 바뀐다는 말도 맞다. 단선적으로 보면 논리적 모순 일 수도 있다.

조건을 열어 놓고 보자. 기억이 적은 사람은 바뀌지 않는다. 기억이 많은 사람은 바뀐다. 점진적으로 바뀐다.

우리의 의식은 매 순간 분산적이고 통합적이다.

그림처럼 기억과 감정을 연결하는 기관이 해마와 편도체이다.

이 회로를 철저히 이해한 사람은 언제든지 사과할 수 있다.

감각과 운동을 연결하는 곳이 PFC이다.

striatum 구조가 운동(습관적 운동)을 담당한다.

파충류 이후부터 신 피질이 진화하면서 striatum의 운동 기능 일부를 takeover 했다.

대뇌 피질을 걷어 내어도 운동은 한다. 그러나 정해진 운동 밖에 못한다.

말단 자유 운동처럼 섬세한 운동은 못한다. 신 피질이 운동을 take off 함으로써 경험의 확장이 가능해 졌다.

동물은 경험의 확장이 어렵다. 짐승의 메인 흐름은 striatum이 장악하고 있다. 그래서 습관적 운동 밖에 없다.

인간은 대뇌 피질의 방대한 경험과 학습의 기억 자원을 링크해서 정교하고 섬세한 운동이 가능해 졌다.

그래서 동물은 운동하고 인간은 행동한다.

인간의 행동은 affective(=limbic) loop, motor loop, cognitive loop로 구성되어 있는데

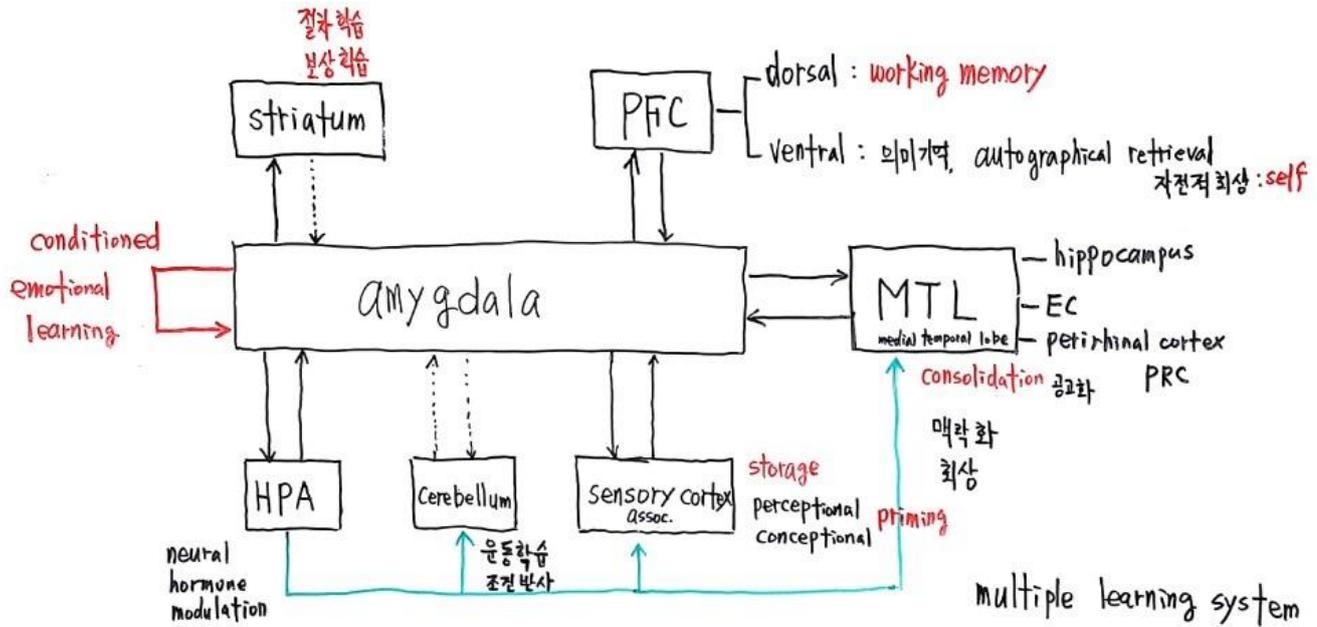
cognitive loop가 인간의 고유한 특징이다. Cognitive loop가 계획을 할 수 있다.

계획이 있으므로 예측이 가능하다. 감정회로, 운동회로, 인지회로가 동시에 돌아간다.

10년차 특별한 뇌 과학에서는 뇌 과학의 많은 지식 중에서 진짜 중요한 것, 여러분이 언제든지 사용 가능한 것을 중심으로 전달해 주고자 한다.

줄이고 줄인 것이므로 반드시 암기하고 실용적으로 사용하기 바란다.

편도체가 학습에서도 중요한 역할을 한다.



이 도표(multiple learning system)를 이해하면 학습이 다중적으로 일어나고 있음을 알 수 있다.

단선적 사고에서 벗어날 수 있다.

도표에서 실선은 직접적 상호 작용이고 점선은 간접적 상호 작용이다.

우리가 보거나 들은 것이 저장되는 곳이 감각연합피질(sensory association cortex)이다.

해마는 MTL(medial temporal lobe)라 하며 hippocampus, EC, PRC(perirhinal cortex) 등으로 구성되어 있다.

각각의 기능을 보면

HPA는 신경호르몬 조절(neural hormone modulation),

소뇌(cerebellum)는 운동학습과 조건반사

감각연합피질은 일화기억의 저장, 지각과 개념의 점화 기능을 수행한다.

MTL에서는 기억의 공고화(consolidation), 맥락화, 기억의 회상(retrieval)이 일어난다.

선조체(Striatum)에서는 절차학습과 보상학습이 일어난다.

전두엽(PFC) dorsal PFC에서는 작업기억(working memory)이 일어난다

ventral PFC에서는 의미기억과 자전적 회상이 일어난다. 자전적 회상이 self(자아)이다.

학습과 기억이 비슷하지만 학습이 더 큰 집합이다.

선조체는 보상학습을 담당한다. Reinforcement이다. 보상을 주면 더 강화된다. 선조체가 이상이 생기면 보상 학습이 되지 않는다. 대표적 질병이 파킨슨 병이다.

감정과 인지가 분리 될 수 있다. 정신병의 대표적 현상이다.

나쁜 행동인줄 알면서도 계속한다.

편도체는 조건화된 감정 학습(conditioned emotional learning)을 한다.

인간 관계에서 아픈 데를 건드리면 안 된다. 상처를 건드리면 덧난다.

“역린을 건드리지 마라”

심리학이 지난 100년간 인간의 단점을 고치려고 온갖 기법을 동원했지만 다 실패했다.
심리학이 지금 와서 깨달은 것은 인간의 단점은 고칠 수 없다는 것이다.
다만 장점을 강화하여 단점을 감출 수 있을 뿐이다.
누군가를 바꾸고 싶으면 장점을 칭찬해 주면 된다. 그러면 그 단점이 가려지게 된다.

대부분의 사람은 자신의 단점을 잘 알고 있다.
잘 고쳐지지 않는 것은 다른 사람들이 그 단점을 자꾸 건드리기 때문이다.
그러면 편도체가 조건화된 학습을 한다. 본능적으로 한다. 나의 아픈 곳을 찌르므로 더 아프게 느낀다.
더 악화된다 에이! 안 고쳐 이렇게 된다. 그래서 고쳐지지 않는다.

“충고하지 마라”

특히 지위가 높거나 교육을 많이 받은 사람에게는 충고하면 안 된다.
자신의 약점을 잘 알고 있는 사람들이다. 약한 점을 건드리면 강화된다
심리학에서 100년 동안 실패했던 것이다.
편도체는 감정 증폭기이다. 건드리면 안 된다. 상처기 덧난다

중세 수녀님이 남긴 시에

**“나이가 드니 충고하지 않아도 되는 나이가 되었다.
충고가 얼마나 좋지 않은 행위인지를 이제서야 알았다.”**

어느 수준에 오른 사람을 바꾸고 싶으면 그 사람 장점을 계속 칭찬해라.
그러면 그 사람은 왜 나를 칭찬하는지 배경을 안다. 그러면 역린이, 사라지지는 않지만 가려진다.
2-30년 동안 가리고 편안하게 살 수 있다. 그러면 그 비중이 드러나지 않는다.
다른 사람에게 해를 끼치지 않는다.
편도가 얼마나 강한지 느꼈을 것이다. 편도를 이길 힘은 없다. 살기 위한 몸부림이다.
그래서 감정을 증폭한다. 건드리면 안 된다. 상처가 덧난다.
아픈 기억은 없어지지 않고 사라질 뿐이다. 사라진다는 말은 시간적으로 점점 줄어드는 것이지 완전히 없어 지지는 않는다. 중독은 완전히 지워지지 않는다. 단지 덮혀 있을 뿐이다. 10년 동안 마약을 하지 않아도 그 장소에 가면 다시 하게 된다. 방법은 그 장소에 가지 않는 것이다.

“Conditioned emotional learning”.

Conditioned라는 것은 항상 그런 조건을 갖고 있다는 것이다. 본인의 단점이다.
그 조건을 건드리면 단점이 나타난다는 것이다. 그러므로 그것을 건드리면 안 된다. 조건 반사인 것이다.

조건반사는 두 가지가 있다.

감정의 조건 반사와 운동의 조건반사이다. 감정의 조건반사는 편도체에서,

운동의 조건 반사는 소뇌 척수에서 일어 난다.

조건반사는 무의식적이다. 무의식적인 것은 이길 수 없다.

무의식적이라는 말은 항상 일어난다는 것이다. 그 말이 conditioned이다. 조건만 맞으면 무의식적으로 일어난다.

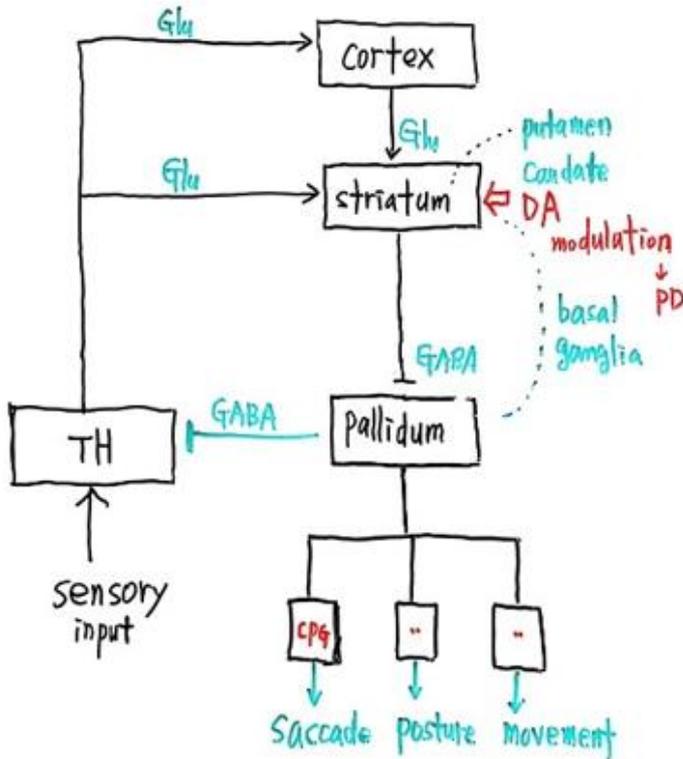
그 조건이 자기의 약한 점을 건드릴 때이다. 다른 곳은 건드려도 상관 없다. 약한 점을 건드리면 고쳐지지 않고

강화된다. 학습되는 것이다. 단점을 고치지 않는다고 화를 내고, 성숙하지 못한 인간이라고 비난해서는 안 된다.

그것은 사자보고 너는 왜 이렇게 잔인하냐고 나무라는 것과 같은 것이다.

조건반사를 비난하는 것은 넌 센스이다. 장점을 칭찬함으로써 단점을 가려야 한다.

다음은 운동회로(motor loop)이다.



<motor circuit: 운동회로>

시상으로 감각입력이 오면 곧장 신 피질(Cortex) 간다.

신 피질에서 선조체(striatum)으로 간다. Striatum은 조가비 핵(putamen)과 꼬리 핵(caudate)를 말한다.

striatum에서는 창백핵(pallium)을 억제 한다.

선조체와 창백핵을 합친 이름이 대뇌 기저핵(basal ganglia)이다.

창백핵에서 세 군데로 CPG(central pattern generator)로 간다.

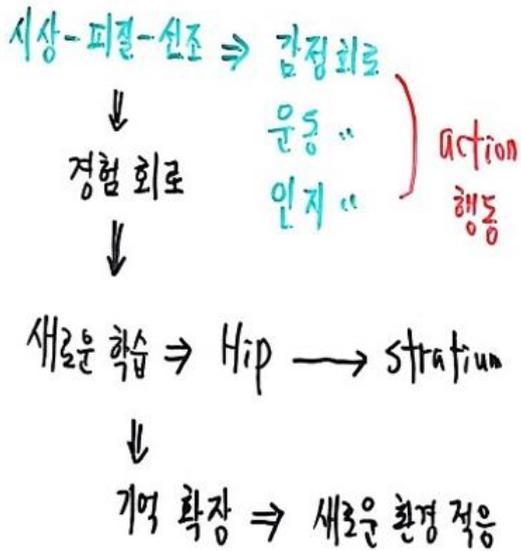
첫 번째 CPG에서는 Saccade(eye movement), 두 번째는 posture, 세 번째가 movement이다.

모든 것이 단선 적이지 않다. 복합적이면서 통합적이다.

Thalamus에서 cortex 뿐만 아니라 striatum으로도 가고 또 pallidum이 thalamus를 억제한다.

striatum을 컨트롤 하는 것이 도파민이다. 이 과정이 잘 못되면 파킨슨 병과 헌팅턴 병이 된다.

자극 하는 신경전달물질은 GLu(glutamate)이고 억제하는 물질은 GABA이다.



이 회로가 시상-피질-선조회로이다. 다른 말로 하면 경험회로이다.

여기에는 3가지가 있다. 감정회로, 운동회로, 인지회로이다.

이 세가지를 모아서 부르는 이름이 오늘 강의 주제인 행동(action)이다.

시상-피질-선조회로를 다른 말로 하면 경험회로이다

새로운 학습(경험)을 하려면 hippocampus가 striatum 활동을 일시 중단 시켜야 한다.

새로운 학습을 통해 기억의 확장이 일어난다. 기억의 확장을 통해서 새로운 환경에 적응한다.

인간은 행동만 관찰하면 된다. 행동에서 펌프 역할을 하는 것이 편도체이다.

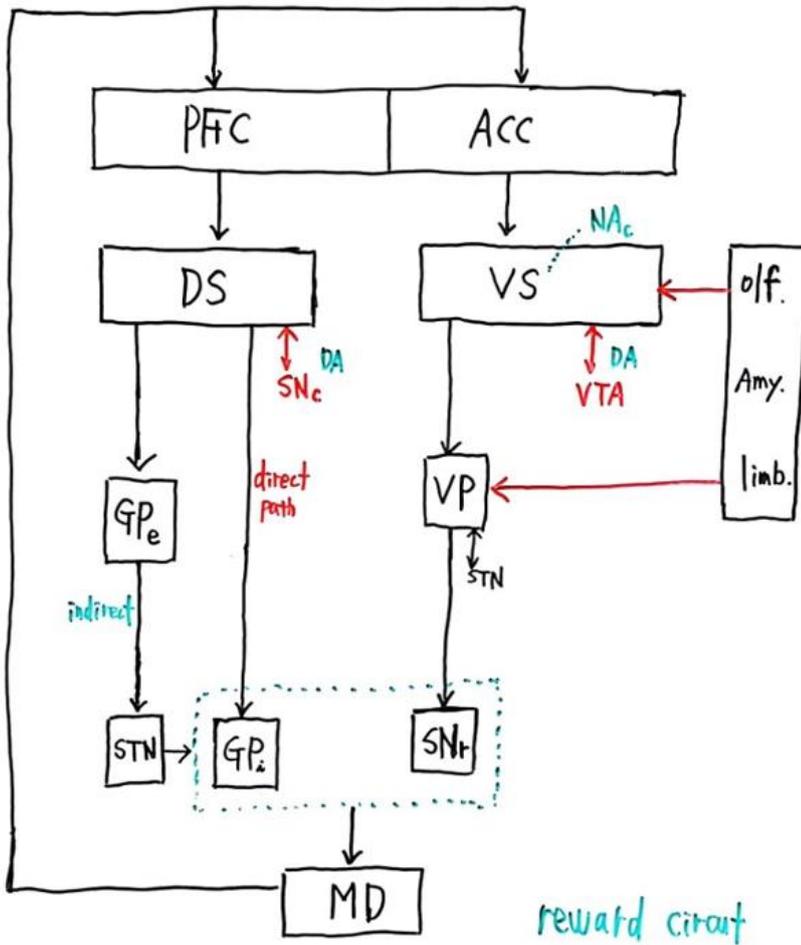
강한 행동을 하기 위해서는 편도체에서 감정의 증폭이 일어나야 한다.

감정이 증폭되는데 그것을 제어하는 것이 인지 시스템이다. 그러면 아주 놀라운 사람이 된다.

많은 것을 해 낼 수 있다.

다음은 인지회로와 감정회로이다.

세 가지 회로를 언제든지 자유롭게 돌릴 수 있으면 인간이 뭘지 조금 느낌이 온다.



<cognitive & affection circuit>

인지 회로의 센터는 PFC이다. 감정회로의 센터는 ACC이다.

PFC를 받는 것이 DS(dorsal striatum: putamen과 caudate)이고 ACC를 받는 것은 VS(ventral striatum: NAc)이다.

VS는 VP(ventral pallidum)으로 가고 DS는 GPe(globus pallidus external: 창백핵 외절)로 간다.

그리고DS에서 곧장 GPi(globus pallidus internal: 창백핵 내절)로도 간다.

DS는 인간의 경우 뉴런 이 약 1억개 정도 된다.

VP에서는 SNr로 내려 간다. GPi와 SNr은 연결되어 같이 MD로 가고 MD가 다시 PFC와 ACC로 간다.

DS에서 GPi로 가는 것이 direct path이다. Direct path는 해야 할 일을 하는 회로이다.

브레인은 복합적인 기능을 수행하는데 가만히 두면 하지 말아야 할 일도 한다.

예를 들면 공부하면서 연필을 돌린다거나 손톱을 뜯기도 한다. 즉 내버려 두면 뭐든지 다 한다.

4-5세 어린이가 장난치는 것을 보면 온갖 할 수 있는 것은 다한다. 5분만 보면 머리가 아프다.

어른이 된다는 것은 해야 될 일만 한다는 것이다. 해야 될 일만 한다는 것은 엄청나게 어려운 일이다.

하지 말아야 될 일은 모두 stop해야 한다. 그래서 전문가가 그렇게 드물다.

술 마시고, 놀러 가고, 골프치고, 쇼핑하고 재미 있는 것 다한다. 그러니까 전문가가 되지 못한다.

전문가가 되려면 하지 말아야 할 것을 stop하는 것이 핵심이다.

공부에 잘하는 비결은 돈은 없고 시간이 많아야 한다.

그래서 감옥에 간 사람 중에 대통령도 나오고 위대한 사람이 많이 나온다.

뇌 과학적으로 가장 위대한 학습 장소는 감옥이다. 하지 말아야 할 것은 못하게 하므로 할 수가 없다.

감옥에서는 계획적으로 생활해야 하고 그 계획적 삶을 공부와 연결 시키면 3-5년을 공부만 할 수 있다.

온갖 유혹이 있는 곳에서 공부하는 사람은 위대한 사람이다.

indirect 회로를 stop 시켜야 한다. 이 조절이 안되면 파킨슨병, 헌팅턴 병이 생긴다.

GPe에서 STN(sub thalamic nucleus)으로 가는 회로가 indirect path(간접회로)이다.

indirect path는 하지 말아야 될 일을 stop하는 회로이다.

STN은 보통 포유동물에는 없고 원숭이 이상 인간에게 굉장히 발달한 기관이다.

하지 말아야 될 일을 하지 않을 수 있는 것은 인간 밖에 없다.

STN에서 나오는 신경 다발이 인간에서는 엄청나게 크다.

그 중에 가장 어려운 일이 소음으로부터 자유로워 지는 것이다.

조용한 것과 고요한 것 그리고 고독이 다르다.

조용한 것은 외부에 소음이 없는 것이고 고요한 것은 내부에 소음이 없는 것이다.

고독하다는 것은 모든 것이 STOP하면 힘이 없는데, 자발적 힘이 생기는 것이다.

고요하면서 자발적 힘이 생기는 과정이 고독해 지는 것이다.

모든 위대한 작품들은 고독 속에서 나올 수 밖에 없다.

고독의 본질은 복잡하고 지저분한 인간관계를 모두 끊는다는 것이다.

내가 목적으로 하는 것을 제외한 모든 것을 끊을 수 있는 사람, 그 사람이 수행자 들이다.

VS와 VP를 옆에서 컨트롤 해주는 시스템이 있다. OLF, Amygdala, Limbic system이다.

냄새에 민감하자. 좋지 않은 냄새는 거부해야 한다. 냄새는 곧바로 화를 유발한다.

그리고 판단력도 흐리게 만든다.

기억 시스템이 후각과 같이 진화했다. 기억은 후각과 링크 된다.

이 전체를 보상회로(Reward circuit)라고 한다.

DS의 보상 시스템이 SNc이고, VS의 보상 시스템이 VTA이다. 모두 DA(도파민)를 분비한다.

우리 브레인이 궁극적으로 추구하는 것이 도파민이다.

학습에 필요한 신경전달물질이 아세틸콜린과 도파민이다.

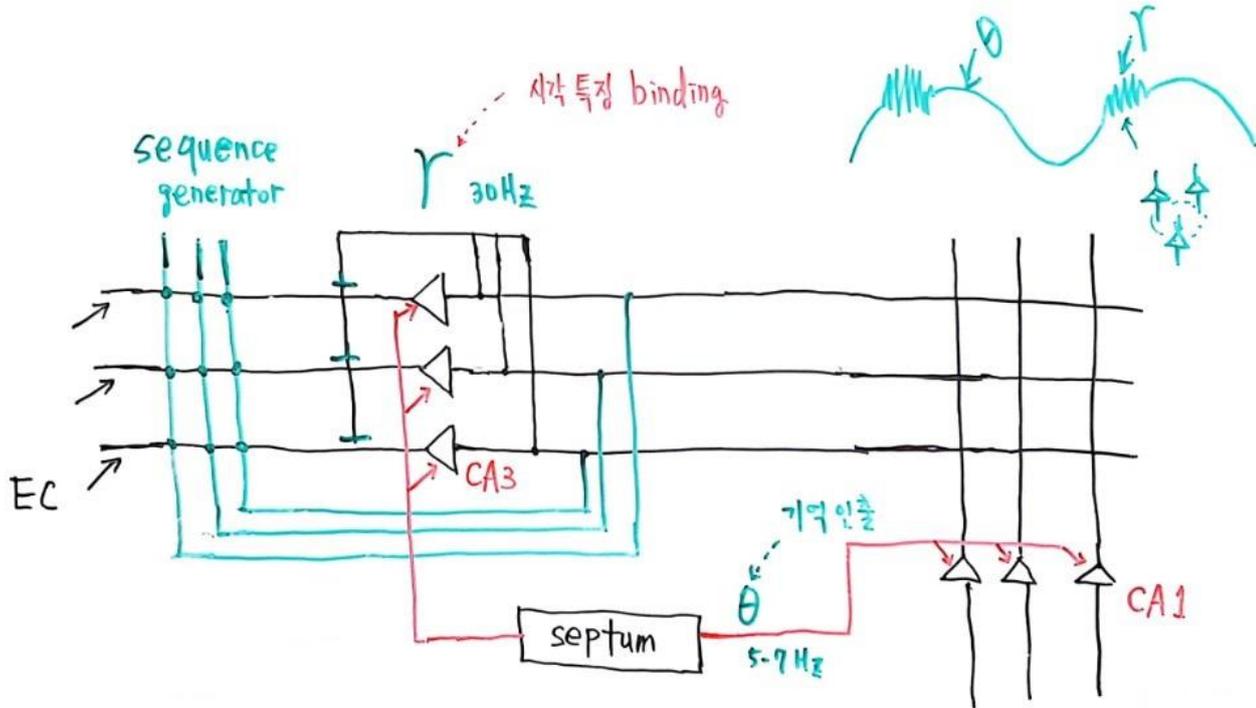
도파민은 예측이 깨어 졌을 때(Prediction error) 나온다

사람들에게 감동을 주려면 예측하지 못하게 해야 한다.

기대치를 낮추어야 한다. 모든 평가는 상대적이다.

인내의 한계는 예측의 한계이다.
 인내심을 무지하게 키울 수 있다. 예측하면 참을 수 있다.
 당혹하다, 놀란다는 말은 예측이 깨어 졌다는 말이다.
 아주 세밀하게 예측하면 실제 상황이 왔을 때 놀라워하지 않는다
 STN이 GPI와 연결되고, VP도 STN과 상호 연결되어 있다.

마무리 하면서
 세타파와 감마파가 어떻게 나오는가가 기억의 본질이다.



< 뇌 과학 공부 389 page 그림 8-15 해마의 감마파와 세타파 생성 회로 >

피라미드 뉴런 3개를 그린다.
 CA3피라미드 세포의 출력의 일부가 입력으로 되돌아 가서 억제 성으로 시냅스 한다. 이때 감마파가 나온다.
 CA3파라미드 세포 출력은 재입력 되어 패턴 서열을 형성한다(sequence generator).
 CA3와 CA1을 연결 시켜주는 시스템이 septum이다.
 Septum은 CA3를 활성화하고 동시에 CA1도 활성화 시킨다. CA3와 CA1이 세타파에 의해 동시에 binding 된다.
 세타파는 약 5-7Hz이고 감마파는 대략 30Hz이다.
 입력은 EC에서 들어온다
 감마파는 시각특징을 binding한다.
 세타파는 기억의 인출 신호이다.
 감마파가 세타파에 실려 있다. 감마파의 각각의 파장은 피라미드 뉴런 수십 개가 연결된 시스템이다.

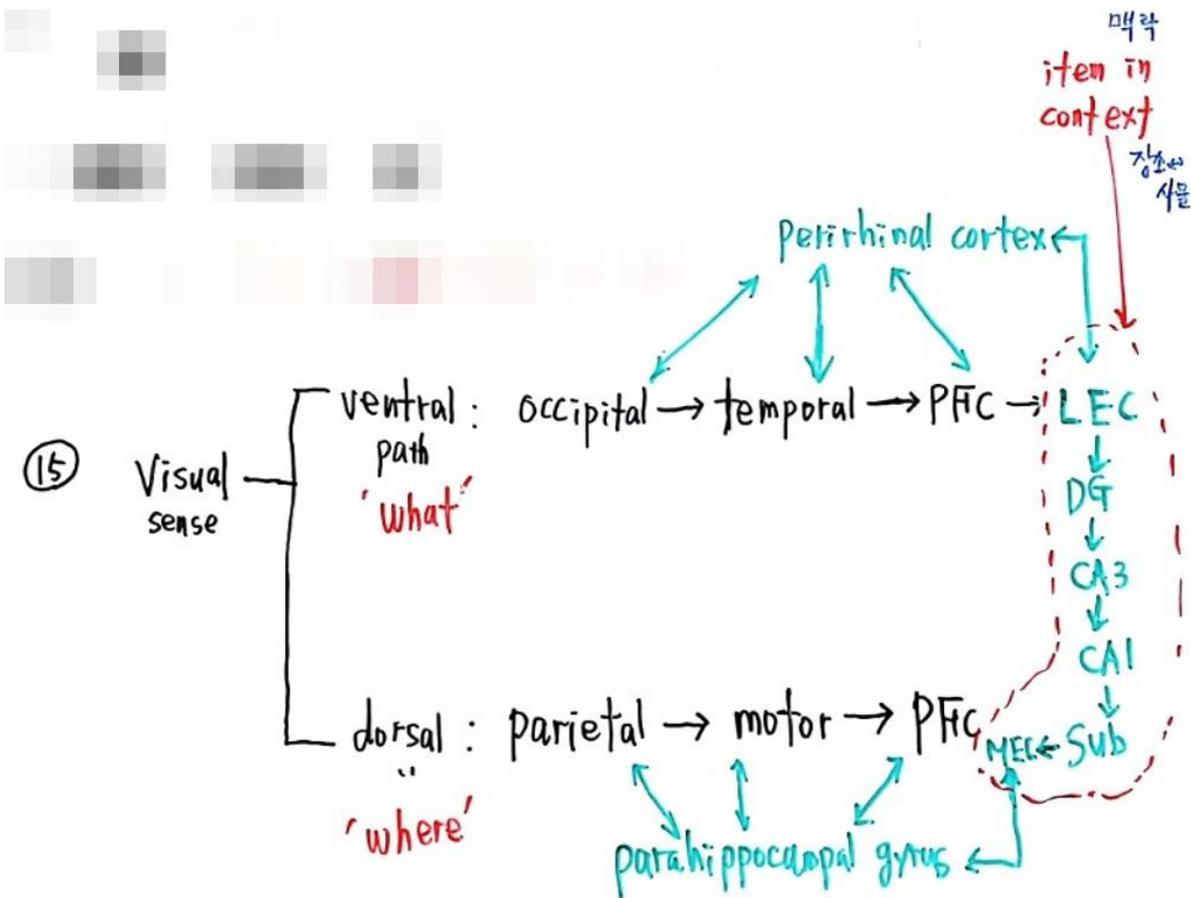
VL이 주기적으로 발화하면 떨림 현상이 나타난다.
 나이가 들면 손 떨림이 나타나는데 억제 시스템이 잘 작동 않기 때문이다.

앞으로 강의에서는 핵심 내용을 칠판에 판서 하겠다. 이것은 모두 암기해야 한다.
 이런 핵심 내용을 적어도 100개 이상은 알아야 한다.
 그리고 각각의 기본적인 회로 내용을 완전히 장악해야 한다.

지난 며칠 동안 인간 전체를 설명할 수 있는 것이 무엇인가를 고민해 보았더니 행동이라는 결론에 도달했다
 행동에는 계획, 운동, 감정 파트가 있다. 인간이 가장 월등한 부분은 계획 파트이다.

인지회로에서는 PFC가 가장 중요한 역할을 하는데, PFC의 역할은 기억 피질(감각연합피질)의 활성화를 조절하는 것이다. 이것이 기억을 불러 오는 것이고, 이것이 working memory이며 WM가 우리의 현재를 구성한다.
 PFC의 대표적 3가지 기능은 Working memory, Impulse control, Time consciousness이다.

시각은 두 가지 경로가 있다.



ventral path와 dorsal path가 있다.

dorsal path: occipital→temporal→PFC→LEC→PHC

ventral path: parietal→motor→PFC→MEC→PRC

해마(붉은 점선 표시 부분)에서의 경로는

PRC에서 들어온 입력이 LEC→DG→CA3→CA1→Sub→MEC를 거쳐 PHC로 간다.

ventral path는 “무엇(what)”을 처리하고, dorsal path는 “어디(when)”를 처리하는 시스템이다.

해마에서 what과 when를 결합 시키면 “item in context”가 된다. 이것이 장소와 사물이 결합된 맥락이 된다. 이것이 인간 시각의 가장 중요한 요소이다.

브레인 전체는 ventral과 dorsal 시스템이 있다고 생각하면 된다. 청각에서도 ventral path와 dorsal path가 있다. 브레인은 이원체계이다.

해마에서는 공간과 사물의 결합인 맥락을 만들어 준다. 이것을 이해해야 self가 무엇인지 알 수 있다.

“신체표상이 기억된 시각 공간에 통합되고 통합된 표상공간 속에서 Self가 작동한다.”

추석 연휴 중 오늘 칠판에 적은 15가지와 회로와 그림 7개는 모두 암기 하시기 바랍니다.

수고 하셨습니다.