마음은 어떻게 뇌에서 생겨나는가?

제6강
조지프 르두의 『느끼는 뇌』(2002)
: 뇌는 정서자극을 어떻게 분간하고 반응하는가?

강사: 조광제

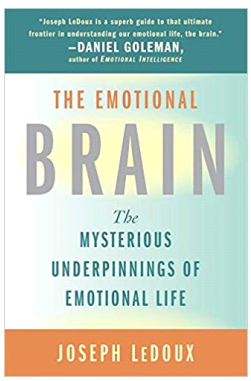
공포를 생산하는 뇌

1. 조지프 르두

예고된 강의계획서와 달리 강의가 진행되어 대단히 죄송합니다. 순서도 바뀌고 내용도 바뀌고 말았습니다. 이번 시간에는 조지프 르두Joseph LeDoux,1949- 가 쓴 『느끼는 뇌, *The Emotional Brain,* 1996』(최준식 옮김, 학지사, 2006)를 살펴보려 합니다. 원래는 조지프 르두가 쓴 다른 책 『시냅스와 자아 *Synaptic Self*, 2002』(강봉균 옮김, 소소, 2005)를 하려 했는데, 이 책을 살피려면 그의 『느끼는 뇌』를 먼저 살펴야 할 것 같아서입니다. 다음 시간에 『시냅스와 자아』의 핵심만을 살펴보기로 하겠습니다.

조지프 루드는 미국의 신경과학자입니다. 그는 뇌 속의 생존 회로survival circuits 연구에 집중했습니다. 특히 생존 회로가 공포와 불안 등의 감정에 미치는 메커니즘을 알고자 했습니다. 그는 현재 뉴욕대학 신경과학센터의 헨리 루시 모세스Henry and Lucy Moses 석좌교수로 재직 중입니다. 아울러 30여 명의 전문 연구원들을 둔 감정두뇌 연구소Emotional Brain Institute을 이끄는 수장 일을 합니다. 흥미로운 것은 그런 가운데 71세의 나이로 그가 <The Amygdaloids>라는 그룹밴드의 리드 싱어이자 싱어라이터로 활동하고 있다는 사실입니다. 감정 전문가답다 하겠습니다.





이미지 출처: 조지프 르두 트위터(좌)

『The Emotional Brain』,Joseph LeDoux(Simon &Schuster,2015)(우)

정말 부러운 인물입니다. 그가 음악을 연주하면서 과연 그의 두뇌 속에서 작동하는 감정 회로들을 떠올리는지가 궁금해집니다.

2. 공포

르두는 뇌의 공포 시스템이 정서 시스템을 전반적으로 이해하는 데 좋은 출발점이 된다고 여깁니다. 그러면서 공포 시스템은 “위험을 탐지해 내고, 그런 위험 국면에서 생존 가능성을 높이는 가장 효과적인 반응을 표출하도록 하는 기능을 담당한다. 즉, 공포 시스템은 방어행동을 담당한다.”라고(176쪽) 말합니다. 이는 공포시스템을 두렵다는 감정적인 의식이 발달한 것과 다른 문제로 보는 것입니다. 우리는 두렵다는 감정적인 의식이 두뇌에서 어떻게 생겨나는가를 궁금해 합니다. 그럼으로써 공포를 비롯한 다른 여러 감정들의 신경학적인 기원을 알고자 하기 때문입니다. 그런데 르두는 “방어 시스템의 작동을 의식적으로 자각할 수 있다고 하더라도 방어 시스템이 의식과는 독립적으로 작동하고 있다는 사실에는 변함이 없다.”라고(176-7쪽) 말합니다.

하지만, 우리로서는 생존을 위한 방어 시스템으로서 공포가 발달했다 할지라도 우리 인간에게서 두렵다는 느낌 즉 두려움의 감정적인 의식이 어떻게 왜 생겨나게 되었는가를 아울러 해명하지 않으면 우리 인간의 정체를 알 수 없다고 여깁니다. 이에 관해 르두는 “감정으로서의 공포는 두 가지 신경계가 진화하면서 생성된 부산물에 불과하다. 하나는 방어행동을 조정하는 시스템이고 다른 하나는 의식을 만들어내는 시스템이다. (…) 공포를 느낀다는 것은 매우 유용할 수도 있으나 그것이 곧 진화를 통해 형성된 방어행동을 담당하는 신경계의 본래적 기능은 아니다.”고(177쪽) 말합니다. 방어행동과 공포감의 관계입니다. 위험한 상황에서 방어행동을 잘 하기만 하면 되지, 굳이 그때 공포감을 느낄 필요는 없다는 것이겠습니다. 그런데 공포감이라는 감정의 의식이 발달한 것도 생존하는 데 뭔가 유용하기 때문일 것입니다. 그 이유에 관해서는 나중에 살펴보기로 합시다. 우선 르두는 공포가 왜 정서 연구에서 중요한가를 이렇게 말합니다.

> 첫째, 공포는 곳곳에 존재한다. 둘째, 공포는 정신병리학적으로 매우 중요한 의미를 지닌다. 셋째, 인간과 다른 여러 동물들은 공포를 유사한 방식으로 표현한다. (…) 그것은 곧 인간과 다른 동물들에 있어서 공포의 신경적 기초가 유사하다는 것이다.(177쪽)

자신이 왜 공포를 특별히 집중적으로 연구하게 되었는가를 말하는 대목입니다. 맨 먼저 공포가 곳곳에 존재한다는 점에 관해 다음의 르두 이야기는 흥미롭습니다.

> 공포와 관련된 개념들을 표현하는 영어 단어가 얼마나 많은지 대략적으로 분석해 봄으로써 우리는 공포가 우리의 삶에 있어서 얼마나 중요한 의미를 지니는지 다시금

> 확인할 수 있다. 경보alarm, 겁냄scare, 걱정worry, 염려concern, 의심misgiving, 양심의 가책qualm, 동요disquiet, 불쾌uneasiness, 경계심wariness, 안절부절 못함 nervousness, 신경이 날카로움edginess, 덜덜 떨림jitteriness, 우려apprehension, 불안anxiety, 전율trepidation, 경악fright, 두려움dread, 고민anguish, 공황panic, 겁에 질림terror, 혐오horror, 대경실색consternation, 고통distress, 무기력 unnerved, 혼란distraught, 위협threatened, 방어적임defensive 등 소위 말하는 인간의 진보가 공포의 상실에서 비롯된 것이 아니라 공포에도 '불구하고' 진보했다는 표현이 옳을 것이다.(178-9쪽)

갑자기 하이데거가 인간을 근본적으로 감정적인 존재로 보면서 근본 감정으로 "불안Angst"을 제시한 것이 떠오릅니다. 불안이 "죽음으로 향한 존재"인 인간이 지닐 수밖에 없는 근본 감정이고, 존재에 대한 모든 이해가 불안과 더불어 생겨날 수밖에 없다고 말한 것이지요. 물론 그는 불안과 "공포Frucht"가 다르다고 하면서, 공포는 일정한 대상이 있는데 반해, 불안은 그런 대상이 없는 상태에서 주어지는 감정이라고 합니다. 과연 공포가 그렇게 불안과 구분될 수 있는 것인가에 관한 과학적인 견해는 르두의 대답을 기다려봐야 할 것 같습니다만, 아무튼 이처럼 많은 어휘가 공포와 관련해서 분기되어 나왔다는 사실은 놀라운 일이 아닐 수 없습니다.

그리고 공포가 정신병리학적인 신경질환과 관련되어 있다는 것에 관해서는 이렇게 말합니다.

> '강박신경증' 환자들은 세균 등의 특정한 대상에 대해 극도의 공포감을 표출하고 그러한 공포의 대상 혹은 사건을 회피하거나 눈앞에서 없애버리려는 강박적 의식에 집착을 보인다. '공황장애'는 여러 가지 신체적 증상들이 순식간에 나타나는 상황을 야기하며, 공황장애환자들은 때때로 죽을 것만 같다는 불가항력적 공포에 휩싸이곤 한다. (…) 외상 후 스트레스 장애는 신체적 폭력, 성폭력 등을 포함하는 여러 종류의 외상적 상황에 의해 유발될 수 있다. 다시 말하지만, 공포는 정신병리학에 있어서 핵심적인 정서이다.(180쪽)

그런 것 같습니다. 공포와 무관해 보이는 이상abnormal 행동과 의식이 충분히 있을 수 있지만, 공포 또는 극심한 불안이야말로 히스테리의 원인임에 틀림없고, 그로 인해 정신분열 등도 생겨날 수 있는 것 같습니다.

마지막으로 르두는 공포가 인간과 다른 동물들에게서 유사한 신경적 기초를 지닌다는 것에 관해서는 아주 길게 논의합니다. 이와 관련된 르두의 이야기를 간추려 봅니다.

> 공포의 국면을 당하여 나타나는 세 단계의 순차적 행동 패턴 – 깜짝 놀람, 방향 돌리기, 동결 반응 혹은 공격 – 은 매우 일반적인 반응패턴이다. 우리는 이미 다윈이 제시한 예를 통해, 털 세우기가 인간을 비롯한 수많은 동물들에게서 공통적으로 나타나는 방어 반응임을 알 수 있었고, 또한 털 세우기 반응이 새들이 깃털을 부풀리고

물고기가 지느러미를 뻗는 행동과 어떻게 관련되는지를 살펴본 바 있다.(182-3쪽)

위험에 처한 상황에서 작동하는 고통 억압 메커니즘은 유기체로 하여금 모든 에너지와 자원을 가장 급박한 위험에 집중하도록 해 준다. 인간과 쥐의 경우 모두에서, 스트레스에 의한 무통 반응stress-induced analgesia은 뇌의 생래적 아편계가 작동한 결과이이다. 뇌가 위험을 감지하면 자율신경계의 신경들을 통해 몸의 각 기관들에 메시지를 보내 주어진 상황에 맞는 행동을 준비하도록 조절한다. (…) 소화기관을 긴장시키고, 심장박동과 혈압을 높이며, 손과 발이 땀으로 끈끈해지도록 하고, 침이 마르도록 한다. 인간에 있어서 이러한 반응들은 공포의 표상이다. 새, 쥐, 토끼, 고양이, 개, 원숭이, 비비 등 많은 동물들에서 방어행동과 관련된 심혈관계의 반응이 검증되었으며, 또한 이러한 심혈관계의 반응들을 관장하는 두뇌 회로와 신체의 화학적 메커니즘이 종들 간에 유사한 것으로 밝혀졌다.(183쪽)

각각의 종들이 위험에 반응하는 고유의 방식을 가진다 할지라도 기능적 패턴에 있어서 나타나는 공통성은 여전히 유효하다. 사실 인간과 다른 동물의 공포 반응을 구분짓는 것은 공포가 표현되는 양상이 아니라 방어적 기제를 작동시키는 자극의 종류이다.(185쪽)

정말 무서우면 머리털이 마치 철사처럼 꼿꼿하게 섭니다. 제가 신학교 시절 매일 자정이 되면 학교 뒷산에 굴처럼 마련된 기도실에 가서 명상도 하고 기도도 하는 등 했습니다. 약 한 달쯤 지난 어느 날, 촛불을 켜 놓은 상태에서 기도실 입구에 머리를 두고 누워있는데 눈을 뜨니 눈동자가 없는 허연 두 눈을 지닌 새까만 털의 거대한 괴물이 나를 내려다보는 것이었습니다. 환상을 본 것이지요. 너무 놀라 누웠던 내 몸이 마치 강력 스프링처럼 튀어 올라 바로 앉게 되었고 뒤에 괴물이 서 있다는 생각에 머리칼리 온통 철사처럼 솟구치는 것을 느꼈습니다. 정신을 차려야겠다 싶어 옆에 있던 성경을 펴고 잠시 본 뒤 뒤로 돌아보니 괴물이 없어졌습니다. 그 뒤로 거기에 가지 않았습니다. 의식이니 정신이니 하는 이른바 의지를 지닌 주체적인 인간의 모습은 온데 간 데 없는 것이지요. 이러한 환상을 일반 동물들도 갖는지 어쩌는지 알 수는 없습니다. 하지만, 다른 사람들도 좀처럼 이런 지독한 경험을 하지 않는 것으로 보아 다른 동물들이 그럴 수 없으리라 짐작할 수 있습니다. 하지만, 반응은 비슷한 것입니다. 그러니까, 동물 종에 따라 공포를 일으키는 자극의 종류는 다를 수 있어도 공포에 따른 반응은 공통된다는 르두의 말이 맞는 것입니다.

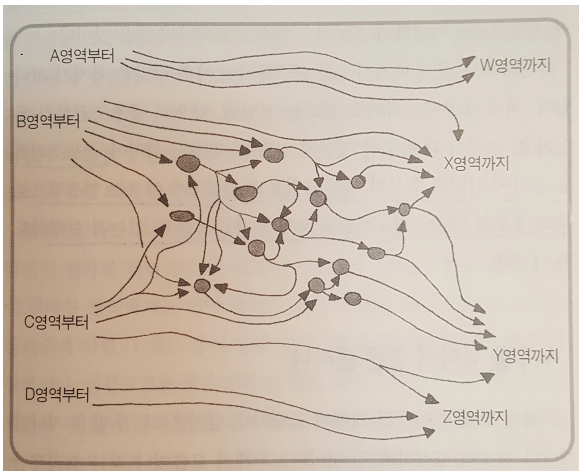
3. 공포조건화

르두의 신경학적인 공포연구는 대단히 의욕적입니다. 그것은 다음과 같은 그의 말에서 알 수 있습니다.

공포 메커니즘을 연구하기에 아주 알맞은 과제가 하나 있다. 바로 공포조건화라 불리

는 것인데, 공포조건화를 통하여 어떻게 수십억 개의 뉴런들과 수십조에 이르는 연결망으로부터 공포조건화에 필수적인 회로만을 분리시킬 수 있는지 설명하도록 하겠다.(198쪽)

우리는 첫 시간 에델만의 『신경과학과 마음의 세계』를 살피면서 "각 신경세포는 시냅스synapse라는 곳에서 다른 신경세포와 연결된다. 그런데 여기서 놀라운 사실은 — 대뇌피질에만 10억의 100만 배만큼의 시냅스가 있다는 것이다. 만약 당신이 그 연결점(또는 시냅스)의 수를 1초에 한 개씩 센다면, 시작한 지 약 3200만 년 후에 마칠 수 있다."(37-8쪽)라는 말을 인용한 적이 있습니다. 이토록 복잡한 신경회로의 구성에서 특별히 공포조건화 — 아직 무엇인지를 알지는 못하지만, — 에 필수적인 회로만을 분리시킬 수 있다는 말하고 있으니 르두의 기획이 대단히 의욕적이라고 말하는 것입니다. 그런데 르두는 신경회로에 관해 이렇게 말합니다.(197쪽)



사실 뇌의 다양한 영역들 사이에 일어나는 상호작용에는 체계적인 패턴이 존재한다. 그림의 가운데에 있는 상호연결된 네트워크는 B와 C영역으로부터 입력을 받지만 A와 D로부터는 받지 않는다. X와 Y로는 출력을 보내지만 W와 Z에는 보내지 않는다. 이에 더해서 C영역은 Y와 직접 혹은 중앙 네트워크를 거쳐 간접적으로 정보교환을 한다. 진짜 뇌에서서는 여러 영역들 간의 축색 연결을 추적함으로써 이러한 연결들을 밝혀낸다.

신경회로가 복잡하게 형성되긴 하지만, 입력과 출력의 경로가 일정하게 정해져 있기가 예사라는 것입니다. 물론 이 상호연결들은 시냅스 방식으로 되어 있기 때문에 아예 확고하게 결정된 것이 아니라, 이른바 "헵 가소성"이라고 해서 더 강화될 수도 있고 더 약화될 수도 있습니다. 중요한 것은 이러한 연결을 축색의 연결을 추적함으로서 찾아낼 수 있다는 것입니다. 신경의학의 발달에 의한 위업이 아닐 수 없습니다.

그렇다 치고, 이제 공포조건화에 관해 알아보기로 합시다. '조건화conditioning'라는 개념은 잘 알다시피 저 유명한 러시아의 실험심리학자인 파블로프Ivan Petrovich Pavlov, 1849-1936에 의한 개념입니다. 배고픈 개가 고기를 보면 침을 흘리는 데, 이때 고기는 무조건 자극unconditioned stimulus(US)입니다. 그런데 고기를 주기 전에 종을 울리고 고기를 주는 일을 반복했더니 종만 울려도 배고픈 개가 침을 흘리는데, 이때 종소리는 조건 자극conditioned stimulus(CS)입니다. 조건 자극에 의해 행동을 하게 되면, 그것을 학습이라고 합니다.

르두는 이를 활용해서 공포반응을 조건화하는 실험을 했습니다. 쥐의 발바닥에 전

기충격을 주면 쥐는 공포반응을 일으킵니다. 이때 전기충격은 공포를 일으키는 US입니다. 그런데 전기충격을 주고 난 뒤 특이한 소리를 들려줍니다. 이러한 짝짓기 자극을 반복하게 되면, 소리만 들려주더라도 쥐가 공포반응을 일으킵니다. 이를 공포조건화 학습이라고 합니다. 공포조건화 학습이 정착되면, 이제 소리는 공포를 일으키는 CS 또는 학습된 유발자극이 됩니다. 이와 관련해서 르두가 관찰한 내용은 자못 흥미롭습니다.

> 조건화된 공포 학습은 순식간에 일어나며, CS와 US를 단 한 번만 짝지어 제시해도 일어난다. 야생 동물들은 여러 번의 시행착오를 통해 학습할 여유가 없다. 실패하면 포식자의 먹잇감이 되기 때문이다.(202쪽)

> 이러한 공포조건화는 순식간에 일어날 뿐만 아니라 오랫동안 지속된다. 사실상 한번 공포조건화가 일어나면 그 기억은 쉽게 잊히지 않는다. 시간이 지나도 그것을 떨쳐버릴 수 없다. 그러나 반복적으로 US의 제시 없이 CS에만 노출시키면 공포조건화는 '소거extinction'된다. 다시 말해서 공포 반응을 이끌어 낼 수 있는 CS가 US 없이 단독으로 제시됨에 따라 그 능력을 잃게 되는 것이다.(202-3쪽)

> 소거된 조건 반응의 회복을 인위적으로 유도하는 것도 가능하다. 이것은 바우튼 Bouton, M.의 연구에서 잘 드러나는데, 쥐들을 어떤 방에 놓아두고 소리와 전기충격을 연합시킨 다음에 새로운 방에서 조건화된 공포 반응이 더 이상 나타나지 않을 때까지 계속해서 CS인 소리 자극만을 제시하였고, 결국 공포 반응은 소거될 수 있었다. 그 후에 다시 이전에 CS+US 연합이 이루어졌던 방에 쥐를 넣고 CS를 제시하니 쥐들은 다시금 CS에 공포 반응을 나타냈다. 이를 재기再起,renewal라고 부른다. 이는 소거를 통해 기억이 지워지는 것이 아니라 CS가 공포 반응을 일으킬 가능성이 감소된다는 것을 말해준다.(203쪽)

참으로 묘한 일입니다. 생존 본능을 강화해 온 진화의 과정을 생각하게 됩니다. 공포조건화가 이처럼 단 한 번의 자극 짝짓기에 의해서도 일어난다는 것은 정말 놀랍습니다. 하지만, 단 한 번의 성폭력으로 심각한 트라우마를 겪는 사람들은 얼마든지 많습니다. 만약 그때 그 나쁜 남자 놈이 저음의 부드러운 음성으로 위협을 가했다면, 저음의 부드러운 남자 음성을 듣기만 해도 소름이 끼치게 될 것입니다. 그리하여 부드러운 저음의 남자 음성을 비롯해 그와 유사한 소리에 대한 강박신경증이 생길 수도 있습니다. 그런데 이를 치료하기 위해 그런 음성을 내는 사람이나 소리를 내는 환경에 짐짓 반복해서 노출시키면서 아무런 일도 일어나지 않는다는 것을 경험하도록 하게 되면 일정하게 그러한 강박신경증으로부터 벗어날 수 있을 것입니다. 하지만, 그렇게 벗어났다고 할지라도 만약 그 성폭력이 일어난 바로 그 장소에서 그 음성이나 소리를 듣게 되면 다시 강박신경증이 재발할 것입니다. 이는 공포 반응이 우리의 삶에서 얼마나 중요한 것인가를 방증해 준다 하겠습니다. 그래서 르두는 이렇게 말합니다.

> 공포조건화는 해롭거나 잠정적으로 해로울 수 있는 자극 혹은 상황에 대한 정보를 획득하고 저장하는 오래된 진화의 해결책이다.(205쪽)

하지만, 우리 인간에게 특이한 것은 공포에 대한 의식, 즉 공포스럽다는 의식이 생겨난다는 것입니다. 이에 관해 르두는 이렇게 말합니다.

> 인간에게서 공포조건화와 함께 나타나는 의식적인 공포감은 공포 반응 그 자체가 원인인 것이 아니라, 의식을 담당하는 뇌에서 방어 기제가 활성화됨에 따라 나타나게 되는 결과물 중의 하나이며 따라서 모든 공포 반응에 반드시 나타날 필요는 없는 것이다.(206쪽)

그런데 왜 특별히 우리 인간에게는 그러한 의식적인 공표감이 수반되는 것일까요? 기다려봐야 할 것 같습니다.

4. 공포조건화의 신경학적 메커니즘

과연 두뇌에서 어떤 경로를 거쳐 공포조건화가 일어날까? 이를 밝혀내기 위해 르두는 쥐의 소리라는 CS에 의한 공포조건화에 일단 골몰합니다. 소리를 듣기 위해서는 대뇌의 청각피질이 작동해야 합니다. 그래서 만약 청각피질을 손상시키면 소리에 의한 공포조건화가 사라지지 않겠는가, 하는 생각을 할 수 있습니다. 그런데 그렇지 않았습니다. 르두의 이야기를 들어봅니다.

> 실제로 청각피질의 손상은 동결 반응이나 혈압상승 반응 어느 쪽을 대상으로 실험해 보아도 조건화에 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 나는 그 바로 아래 수준의 구조물인 청각시상auditory thalamus을 손상시켰고 이번에는 공포조건화가 완전히 억제되었다. 그 다음 구조물인 중뇌의 청각 중계핵들에 대한 손상도 마찬가지 결과를 가져왔다. 이를 통해 내린 결론은 청각 자극이 귀에서 시상에 이르는 청각 경로는 반드시 따라야 하지만, 그 위의 청각피질까지 거쳐 갈 필요가 없다는 것이었다.(212쪽)

살아있는 동물을 대상으로 이런 미세한 실험을 할 수 있다는 사실 자체가 놀랍습니다. 중요한 것은 뇌 영역에 청각피질과 청각시상이 구분되어 있다는 것이겠습니다. 공포조건화가 이루어지는 데 청각피질이 상관이 없다는 것은 최종적으로 소리를 인식해서 그 소리가 나는 곳을 파악한다거나 하는 것과 상관이 없다는 것입니다. 청각적인 자극이 청각피질에 이르러 소리에 대한 최종적인 인식이 일어나기 전에, 그 청각적인 자극은 먼저 청각시상을 거칩니다. 그런데 소리에 의한 공포조건화는 청각시상에서부터 청각피질에 이르기 전에 거치게 되는 신경과정에서 일어난다고 해야 합니다.

르두는 과연 청각시상에서 청각피질에 이르기 전에 어디를 거침으로서 공포조건화가 일어나는가를 알아내고자 했습니다. 이를 위해 트레이서 즉 추적자 역할을 하는

효소들을 청각시상에 주입한 뒤 그것들이 어디로 가는가를 밝혀냅니다. 그 결과 청각시상으로부터 투사를 받는 피질 아래의 네 군데 영역을 발견했는데 그 중 세 군데는 공포조건화를 약화시키지 않았는데 한 군데가 공포조건화를 없애는 데 작동했습니다.

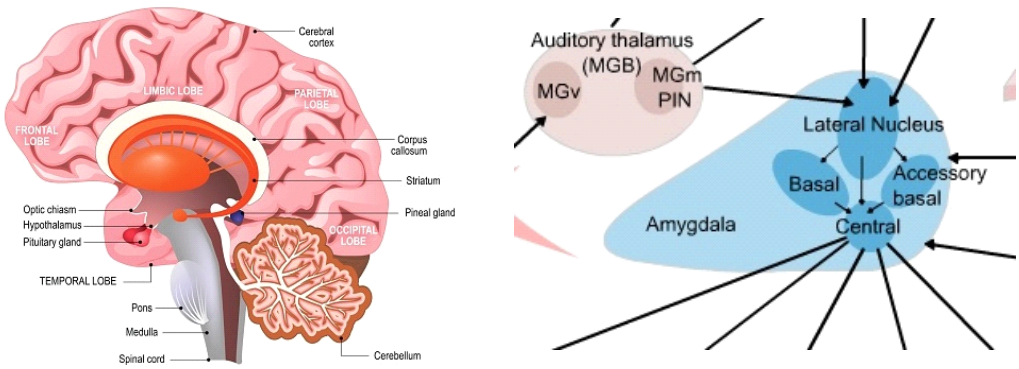
> 네 번째 영역인 편도체와 청각시상 사이의 경로를 손상시켰을 때, 마침내 조건화가 일어나지 않았다.(216쪽)

> 시상에서 편도체로 직접 정보를 보내는 경로의 발견은 조건화된 공포 자극이 피질로부터의 도움을 받지 않고도 공포 반응을 일으키는 것이 가능함을 의미했다. 이 경로를 통해 시상 입력이 피질을 건너뛰어 편도체로 직접 전달되는 것이다.(217쪽)

우리는 라마찬드란의 『뇌는 세상을 어떻게 보는가』를 살피면서 편도에 관한 이야기를 많이 들었습니다. 여기에서는 편도체로 번역되고 있습니다. 편도는 감정적인 가치를 파악하는 변연계의 핵심 통로로 알려진 것이었습니다. 간단히 말해 편도를 감정의 중추라고 말합니다. 그리고 통증 등을 느낄 수 있도록 하는 핵심 영역입니다.

그런데 지금 여기 르두의 이야기를 보면, 편도를 감정의 중추라고 널리 인식하게 된 것은 다름 아니라 르두의 업적인 것 같습니다. 르두가 이런 실험을 과연 언제 몇 년도에 했는지가 정확하게 명기가 되어 있지 않아 알 수 없긴 합니다만, 이 책이 1996에 출간된 것으로 보아 그보다 상당히 이른 시기에 실험이 이루어졌을 겁니다. 아무튼 기억해 둡시다. 편도를 감정의 중추로 여기게 된 것은 르두의 업적이라고 말이죠.

이렇게 되면, 편도체가 문제가 됩니다. 편도체amygdala는 전뇌forebrain에 위치한 작은 영역으로 아몬드 모양의 형태를 가지고 있다고 해서 초기의 해부학자들이 붙인 이름이라고 합니다. 시상하부hypothalamus와 해마hippocampus 사이에 바로 붙어 있습니다. 시상하부 위에 시상thalamus이 있음을 확인할 수 있습니다.



이미지 출처: 위키피디아(좌), nba.uth.tmc.edu(우)

오른쪽 그림은 편도체의 내부 구조입니다. 중심핵Central이 있고, 외측핵Lateral Nucleus이 있습니다. 그 외 기저핵Basal도 있고 부속핵Accessory basal도 있습니

다. 이 두 그림은 인터넷을 통해 찾은 것입니다. 아무튼 르두는 이렇게 말합니다.

> 손상 연구를 통해 얻은 결과와 해부학적 경로 추적 연구결과를 통합하여 볼 때, 편도체의 외측핵은 공포 학습 중 CS를 받아들이며 중심핵은 반응 조절 시스템[1]과 상호작용을 하는 매체로 생각할 수 있다.(220쪽)

편도체의 외측핵이 공포조건화를 담당하는 핵심 기관이라는 이야깁니다. 결국 어떻게 되는가? 핵심은 신피질과 상관없이도 학습이 이루어질 수 있다는 것입니다. 르두는 이렇게 말합니다.

> 신피질을 거치지 않는 신경 통로에 의해 정서 학습이 일어날 수 있다는 사실은 사고, 이성, 의식 등에 관여한다고 여겨지는 두뇌의 고등한 처리 영역의 개입 없이 학습이 이루어질 수 있음을 시사한다.(221쪽)

그런데 과연 이렇게만 학습이 이루어지는 걸까요? 그렇다면, 왜 신피질에 속한 청각피질이 발달하게 되었을까요? 이에 관한 또 하나의 기가 막힌 르두의 연구가 있습니다. 그 결과 그는 이렇게 말합니다.

> 두 가지 유사한 소리가 사용된 실험에서 (청각)시상은 어떤 소리가 주어지든지 편도체에 동일한 정보만을 보내게 된다. 그러나 청각피질을 통해 청각 자극의 차이가 지각된 경우 청각피질은 편도체로 이러한 차이에 대한 정보를 전달하게 된다. 만약 청각피질이 손상된다면 실험 동물은 단순히 시상 경로만을 이용하게 될 것이고, 편도체는 두 가지 소리를 같은 것으로 여겨 두 소리 모두에 공포 반응을 보일 것이다.(223쪽)

청각피질을 경유하여 편도체로 정보가 전달될 경우, 소리의 미세한 차이를 파악해서 공포 반응을 일으킬 필요가 있는 청각적인 자극과 그럴 필요가 없는 청각적인 자극을 구분해서 반응하게 된다는 것입니다. 예를 들어, 어두운 숲 속을 걷고 있는데 이상한 소리가 들립니다. 혹시 무서운 동물이 다가온 것 아닌가 하듯이 놀라서 고개를 돌리고 일순간 긴장되어 진땀이 납니다. 그런데 알고 보니 그 소리는 발밑 가지를 밟아 부러지는 소리였습니다. 그제야 안심이 됩니다.

소리 정보는 귀를 통해 뇌로 들어가 청각시상에 도달합니다. 청각시상에 도달한 청각 정보는 청각 피질을 통해 편도체로 가기도 하고, 그와 동시에 청각 피질을 거치지 않고 바로 편도체로 가기도 합니다. 우선 놀라서 긴장되고 진땀이 나는 것은 시상에서 편도체로 바로 들어간 정보에 의한 반응입니다. 그리고 나중에 발밑 가지를 밟아 부러지는 소리임을 알아 안심을 하게 되는 것은 청각 피질을 통해 편도체로 간 정보 때문입니다. 말하자면, 시상에서 편도체로 가는 정보는 빠르긴 하지만 성긴 방식으로

1) 반응조절 시스템은 다음과 같습니다. 중심 회백질은 동결반응을, 외측 시상하부는 혈압 반응을, 시상하부 실방핵은 스트레스 호르몬 분비를, 미측 망상교핵은 경악반응을 각각 담당합니다.(220쪽 참조)

처리됩니다. 그 대신 시상에서 감각피질을 거쳐 편도체로 가는 정보는 느리긴 하지만 미세하게 처리됩니다. 우선 공포 반응을 통해 피하고 보기 합니다만, 정작 피할 필요가 없는 대상에 대해 이렇게 몸이 과잉 반응하는 것은 에너지를 낭비하게 되고 원하는 목표를 달성하는 데 불리합니다. 그래서 감각 피질이 작동하는 것입니다. 그래서 르두는 이렇게 말합니다.

> 편도체가 시상에서 바로 받은 정보는 아직 여과되지 않은 단순히 유발된 반응에 가까운 정보이다. 피질이 맡은 일은 적절한 반응을 일으키는 것보다는 부적절한 반응을 막는 것이다.(225쪽)

그렇게 반응하지 않아도 되는데 부적절하게 과잉 반응을 했다는 것을 알려주는 것은 감각피질인 셈입니다. 이같이 부적절한 과잉 반응이 몇 번 반복되면 아마도 감각피질을 거친 쪽으로 공포조건화가 이루어져 공포 반응을 더 정확하게 효율적으로 하게 될 것입니다. 그러니까 감각피질과 무관하게 학습이 이루어질 수도 있지만, 감각피질을 통해 이루어지는 학습이 더욱 정확하고 세밀하게 행동을 할 수 있도록 하기 때문에 신피질의 발달이 있어 온 것이겠습니다.

5. 맥락공포조건화

저 앞에서 소리와 전기충격에 의한 공포조건화 된 쥐의 경우, 다른 방에서 US(무조건 자극)이 없는 CS(조건자극)을 반복하면 공포조건화가 소거되는 현상을 보인다고 했습니다. 그런데 공포조건화가 완전히 사라진 것이 아니라 감소되는 것일 뿐이라고 했습니다. 그러면서 공포조건화가 소거된 쥐를 공포조건화가 만들어진 본래의 방에 집어넣어 CS를 가하면 공포반응을 보인다고, 즉 재기再起된다고 했습니다. 이때 그 본래의 방은 어떤 역할을 하기에 소거되었던 공포조건화를 재기시킬까요?

중요한 것은 그 쥐에게 아무런 자극을 주지 않았고 그저 처음에 공포조건화가 이루어졌던 그 방에 넣었을 뿐인데 공포반응을 보인다는 사실입니다. 이를 일컬어 “맥락이 CS가 된 것”이라고 말하고, 또 “맥락조건화”라고 말합니다.(227쪽) 이는 우리가 강도를 당한 골목을 전혀 강도를 당할 조건이 아닌데도 굳이 피하려 하거나 자동차 사고가 난 곳을 지날 때마다 왠지 또 사고가 날까봐 불안해하는 것과 직결됩니다. 두뇌에서 어떤 메커니즘이 작동하기에 이런 일이 일어날까요?

> 맥락에 관련하여 재미있는 것은 이것이 특정한 자극 하나가 아니라 많은 자극들의 집합이라는 것이다. 자극 각각의 요소들을 포함하기보다는 하나의 전체적 맥락으로 별개의 자극들을 통합하는 것이 바로 해마의 역할이라는 의견들이다. 편도체와는 다르게, 해마는 빛이나 소리와 같은 감각 자극을 처리하는 뇌 영역으로부터 직접 정보를 받지 않는다. 대신 장소의 모습이나 소리들은 해마에 도달하기 전에 통합된다. 해마는 개별 자극 하나하나 대신에 자극들 간의 관계를 포함하는 맥락에 대한 표상을

만들어내는 것이다.(229쪽)

해마hippocampus는 흔히 기억 중추로 알려져 있지요. 그러고 보면, 우리가 지난 일을 기억할 때 그때 거기에서 보고 들었던 감각적인 내용들을 세세하게 하나하나씩 기억하지 못합니다. 대략 그 전체적인 패턴이나 형태 또는 분위기 등을 기억할 뿐입니다. 만약 세세하게 기억하는데 그 해상도가 낮을 뿐이라면 마치 컬러 영화를 보듯이 지각한 것을 흑백 영화를 보듯이 기억해 낼 것입니다. 하지만 그렇지 않습니다. 그것은 방금 인용문에서 보아 알 수 있습니다. 아무튼 르두는 다른 동료들과 함께 이 맥락조건화를 공포조건화에 연결해서 이른바 "맥락공포조건화"를 연구했습니다. 이에 관해 이렇게 말합니다.

> 해마 손상은 소리에 의해 유발되는 공포 반응은 제외하고, 맥락 자극에 의해 유발되는 공포 반응만 선택적으로 제거한다. 여기에서 소리가 여전히 영향을 미치는 이유는 [소리가 청각시상에서] 편도체로 직접 전달되기 때문이다. 한편 편도체 손상은 소리에 대한 조건화와 맥락 조건화 모두를 방해했다.(229-230쪽)

편도체는 그 속의 외측핵을 중심으로 공포조건화를 이루는 핵심 뇌 영역입니다. 그러니까 편도체를 손상시키면 그 어떤 조건화도 일어나지 않는 것입니다. 하지만, 편도체는 그냥 두고 해마를 손상시키면 전기충격+소리에 공포조건화 된 쥐의 경우, 소리에 대해 공포반응이 유지되는 반면, 맥락 즉 그렇게 처음에 공포조건화 된 방에 대해 공포반응을 일으키지 않는 것입니다. 간단히 말하면, 해마가 손상되면 자신이 크게 공포를 느꼈던 그 곳에 대한 기억을 하지 못해 그곳에 가더라도 괜히 두렵거나 불안해지는 일이 생기지 않는 것입니다. 하지만, 해마가 공포에 대한 맥락만 기억하는 것이 아니라, 즐거움에 대한 맥락도 기억하도록 한다는 것을 염두에 두어야 하겠습니다. 예컨대 공황장애를 치료하기 위해 함부로 해마를 제거하려 하거나 해서는 안 되는 것입니다. 마지막으로 르두의 다음 이야기를 덧붙이고 오늘 강의를 마치고자 합니다.

> 편도체와 관련 영역의 기능 저하가 어떻게 정서 장애를 유발하는지 쉽게 상상해 볼 수 있다. 시상 경로가 너무 우세하거나 피질과 연결되지 않을 경우에는 피질에 의해 중재되는 의식적 지각에 관계없이 자극이 되는 사건만을 기반으로 정서 기억을 형성하게 될 것이다. 즉, 피질 수준에서 의식적인 자각이 일어나기 이전에 편도체로 이어지는 시상 경로가 이미 감각 시스템을 빠져나가기 때문에, 단순히 자극의 개략적 부분들만 파악이 가능한 피질하 경로와 지각을 담당하는 피질 간에 괴리가 일어나는 것이다. 이러한 불일치를 가진 사람들은 그들의 감정에 대해 굉장히 약한 통찰력을 가지고 있을 것이다. 반면, 시상과 피질로부터 편도체까지 투사하는 경로와 해마가 연결되지 못한 사람은 사회적 맥락을 비롯한 즉각적인 맥락에 대해 부적절한 정서를 표현하게 될 것이다.(230-1쪽)

사람들마다 조금씩 정서적인 문제를 가지고 있습니다. 시상과 피질과 해마가 전체

적으로 원만하게 잘 편도체와 연결되어야 할 것인데, 그렇게 되지 못한 부분들을 조금씩 가질 수밖에 없기 때문일 것입니다. 어릴 때부터 묘하게 공포조건화가 이루어져 습관화된 경우 특히 정서적으로 문제를 일으킬 수 있습니다. 전체적인 맥락을 아랑곳하지 않고 어느 특정한 낱말이나 억양 또는 제스처에 민감하게 반응하여 화를 내거나 기가 죽거나 하는 사람들은 해마와의 연결 통로가 제대로 원만하게 작동하지 않는다고 해야 할 것입니다.

라마찬드란이 분석한 카프그라 망상 즉 안면인식장애의 경우, 시각피질에서 확인한 어머니의 얼굴에 대한 정보가 편도체로 잘 연결되어 어머니에 대해 조건화된 감정들과 통합되어야 하는데, 그 경로가 단절됨으로써 어머니를 닮은 사기꾼이라고 주장하게 된 것이었습니다.

중요한 것은 정서적인 의미라 할 것입니다. 개념적인 의미는 잘 파악한다 할지라도 그것과 연결되어야 할 정서적인 의미가 제대로 접합되지 않으면 여러 가지 문제를 일으킬 수 있기 때문입니다. 이 문제는 언어와 정서의 관계, 즉 언어중추에 해당하는 것으로 알려져 있는 두뇌의 브로카 영역과 베르니케 영역 그리고 정서를 담당하는 편도체와의 연결 문제를 연구함으로써 어느 정도 해답을 얻을 수 있을 것입니다. 개념적인 의미와 언어 처리는 직결되는 문제이기 때문입니다.