장애 극복을 위한 공포기억 소거 원리 규명

2021.8.5.(목) 14:00, 강봉균 서울대학교 교수(과학기술정보통신부)

감사합니다. 오늘 이 연구성과를 가지고 여러분께 발표하게 돼서 정말 기쁘게 생각합니다.

제목은 '외상 후 스트레스(post traumatic stress disorder) 극복을 위한 기억 소거(memory extinction)'라고 합니다. 그 메커니즘 규명한 내용이고요. 이번에 뉴런(Neuron) 저널에 나올 예정입니다.

최동일, 김주영, 이훈원, 김지일 박사가 제1저자가 되겠고요. 저는 서울대학교 생명과학부 강봉균입니다.

논문 제목에 나오고 있고요. 제목은 'Synaptic correlates of associative fear memory in the lateral amygdala'가 되겠습니다. 번역하게 되면 '외측 편도체에서 발견한 연합성 공포기억에 시냅스 상관물'이 직역하면 그런 제목이 되겠습니다.

기억의 메커니즘에 대해서 여러 학설들이 있습니다만, 가장 대표적인 것이 리처드 세먼이라는 독일 학자가 제시했던 엔그램, 그러니까 '우리가 어떤 현상을 기억하게 되면 정신현상이지만, 정보지만 뇌에서는 어떤 물리적인 실체가 있을 거다.'라는 그런 개념으로서 엔그램을 기억의 자취, 흔적이라 그러는데요. 한 100여 년 전에 제시했었고요.

그 이후에 한 70여 년 전에 1949년에 도널드 헵이라는 캐나다 심리학자는 '이런 기억이 저장될 때 그 정보는 뇌에 있는 시냅스에 어떤 변화를 일으켜서 저장될 것이다.'라는 시냅스 가설을 제창한 바가

있었습니다.

그렇지만 이것에 대한 직접적인 증거를 한동안 못 찾고 있었고요. 저희 연구실은 2018년에, 3년 전에 사이언스(Science)에 이 논문, 지금 보시는 논문을 통해서 Dual-eGRASP라는 기술을 개발해서 도널드 헵이 얘기했던 것처럼 우리가 어떤 정보를 뇌에 저장할 때는 그 정보를 처리하는 신경세포들 간에 연결된 시냅스에 어떤 변화가 일어난다는 것을 실질적으로 눈으로 확인할 수 있는 영상기술을 만들어서 기억저장에 관여하는 시냅스를 찾은 바가 있습니다.

오늘 발표한 내용은 이 연구의 후속연구라고 보실 수 있는데요. 그 전 연구가 저희들 해마에서 초점을 맞춰서 저장된 정보가 시냅스에 저장된다는 것을 해마에서 보여드렸고요. 이번에는 공포기억과 관련되는 편도체라는, 해마하고는 조금 거리는 떨어져 있습니다만 연결은 돼있습니다. 편도체에서 공포기억과 관련된 시냅스가 어디 있는지를 찾아낸 그런 연구가 되겠고요.

그래서 약간 서론을 말씀드리면, 우리 기억은 크게 두 종류가 있는데요. 보시는 바와 같이 우리가 기억하고 싶은 행복한 좋은 기억, positive memory가 있는가 하면 사실은 우리가 기억에 떠올리기 싫은 그리고 우리를 너무나 힘들게 하는 그런 나쁜 그리고 고통스러운 기억들이 있다는 것 잘 아실 겁니다.

이런 나쁜 기억은 정신질환으로도 연결될 수가 있는데요. 가장 대표적인 것이 PTSD, 외상 후 스트레스 장애라는 질환이 되겠습니다. 이 공포 그리고 나쁜 기억에서 헤어나지 못해서 잊을 만하면 또다시 재발되고 재발되면서 일상생활에 큰 피해를 줄 뿐만 아니라 정신세계

에까지도 나쁜 영향을 미치는 것이 PTSD가 되게 되는데요.

그래서 이런 나쁜 기억을 없애는 것이 소위 소멸 내지는 소거시키는 것이 굉장히 중요한데요. 사실 나쁜 기억도 아주 오래 지속되게 되면 점점 약해집니다. 그런 약해질 때 이것을 설명하는 두 가지 이론이 있는데요. 두 가지 이론이 있습니다. 하나는 탈학습 이론, unlearning, 그러니까 저장된 정보가 사라진다, 없어진다, 지워진다는 이론이 되겠고요.

또 하나는 재학습, 새로운 학습, new learning이라고 그러는데요. 이것은 뭐냐 하면 나쁜 기억은 사라지지 않고 그것이 나쁘지 않다는 새로운 기억을 거기다가 덧붙임으로 인해서 옛날의 나쁜 기억이 약화되는 것처럼, 소위 mask, masking 된다, 덮어씌워진다는 거예요.

하나는 eraser, 제거된다는 가설이고 또 하나는 덮어서 잠시 이렇게 가림막을 한다는 그런 소위 relearning hypothesis가 있습니다.

그래서 이 두 가지 이론이 굉장히 많이 debate가 있는데요. 대체적으로는 new learning, 옛날 기억은, 나쁜 기억은 사라지지 않고 잠잠해질 뿐이지 그게 완전히 사라지지는 않는다는 그게 사실 대표적인 가설이었는데, 저희들 이번 연구결과를 보게 되면 물론 그것도 맞지만 나쁜 기억이 제거될 수 있는, 사라질 수 있다는 그런 직접적인 증거를 저희들이 찾을 수가 있었습니다.

이 실험을 위해서는 저희들이 동물실험을 하게 되는데요. 저희들은 mouse, 생쥐를 이용하게 됩니다. 그래서 보시는 바와 같이 조그마한 skinner box에 쥐를 넣은 다음에 한 30초 정도 '삐' 하는 소리를

들려주고요. 그러고 나서 한 2초 정도 약한 전기자극을 발바닥에 주게 됩니다. 그러면 쥐는 놀라서, 이런 과정을 한 3번 정도 학습시키는 거예요. 그런 다음에 그 쥐를 다음 날이거나 아니면 며칠 후이건 간에 전혀 다른 장소에 갖다 놓고 이 '삐' 하는 똑같은 주파수의 소리만 들려주면 쥐는 구석에 웅크리고 앉아서, 웅크리는, 얼어붙는 그런 freezing 행동을 보여주게 됩니다. 그래서 '쥐가 공포를 회상하기 때문에 이렇구나.'라는 것을 우리가 정량적으로 측정을 할 수가 있습니다. 이런 방법을 이용했고요.

결론적으로 저희들 결과를 해석했더니, 보았더니 저희들은 소위 편도체에 있는 공포기억을 저장하는 데 관여되는 시냅스만을 찾는 그런 Dual-eGRASP 기술을 이용해서 시냅스를 이렇게 찾았고요. 이게 노란색으로 표시되는 것이 바로 그 engram to engram, 소위 기억세포와 기억세포 간에 연결된 소위 강화된 그 시냅스율을 보여주는 것이 yellow 색으로 이렇게, 노란색으로 표시된 건데요. 그것을 찾을 수가 있었습니다.

그래서 지금 청각피질, '삐' 하는 소리를 인식하는 그런 신경세포 그 다음에 얼어붙는, 공포를 느끼는 데 관여하는 신경세포 간의 연결, 연결이 일어나는 그런 부위를 저희들이 이렇게 시각화해서 시냅스를 직접 눈으로 볼 수가 있었고요. 여기 보이는 게 바로 그런 시냅스이고요.

그래서 결론적으로 말씀드리면, '삐' 하는 소리가 들릴 때 활성화되는 그런 신경세포와, 청각피질이라는 신경세포와 그다음에 얼어붙는 반응을 유발하는 데 관여되는 편도체에 있는, 외측 편도체에 있는 그 신경세포 간에 시냅스 크기가 이렇게 증가되는 것을 저희들이 볼 수 있었습니다. 시냅스가 더 커진다는 얘기죠. 그 얘기는 뭐냐면, 두

기억세포 간에 연결이 더 활성화되고, 정보 소통이 더 활발해진다는 그런 얘기가 되겠습니다.

그런데 여기서 더 나아가서 재미있는 것은요. 사실 특정한 기억을 저장하는 시냅스가 있다는 것은 사실 저희들이 3년 전에 사이언스지를 통해서 발표했고요. 그것을 공포기억을 이용해서 편도체에도 그런 시냅스가, 기억저장 시냅스가 있다는 것을 보여준 것은 사실 어떻게 보면 후속연구라고 볼 수 있는데요.

이 논문에서 더욱 핵심적인 사항은 뭐냐면, 그 시냅스를 저희들이 계속 관찰했는데요. 그러고 나서 공포기억을 소위 extinction, 소거를 시켰습니다.

이것은 어떻게 하느냐면, 처음에 skinner box에서 '삐' 소리가 들릴 때 전기충격이 가해지게 되면 쥐는 공포기억을, 공포학습을 하게 되는데, 그러고 나서 3일 동안 똑같은 '삐' 하는 소리를 내지만서도 그다음에는 전기충격을 가하지 않는, 그러니까 여러분, 늑대 소년 얘기를 아시죠? 늑대 소년이 뭐... 양치기 소년과 늑대 얘기를 아시죠? 이솝우화. 늑대가 나타났다고 이렇게 처음에 얘기했을 때 마을 사람들이 다 놀라서 겁을 먹는데, 계속 그런 거짓말을 하니까 나중에는 마을 사람들이 늑대 소년의 그 얘기를 듣지 않지 않습니까? 똑같은 상황입니다. '삐' 하는 소리가 계속 나는데도 더 이상 전기충격이 없습니다. 그러면 쥐는 '아, 옛날에는 이 소리를 듣고 굉장히 위험한 그런 상황에 빠졌었는데 이제는 별일이 없네. 놀랄 일이 아니네.' 그래서 공포를 느끼지 않게 됩니다.

그래서 '삐' 소리를 나중에 들려줘도 얼어붙는 행동이 없어지거나

아니면 굉장히 약화되는 것을 볼 수가 있습니다. 이것을 바로 공포기억의 소거, memory extinction이라고 합니다.

그래서 저희들은 이런 상황에서 아까 공포기억이 형성될 때 만들어지는 그 시냅스가 과연 소거가 됐을 때, extinction이 됐을 때는 그 시냅스는 어떻게 변할 것인가를 저희들이 추적을 했습니다.

그래서 보시는 바와 같이 공포기억을 처음에 주게 되면 쥐가 이렇게 많이 얼어붙게 되고요. 소거를 시켜주게 되면 쥐 얼어붙는 게 많이 약화되고요. 자, 그런 상황에서 이 시냅스를 관찰해보았습니다.

이것은 공포기억을 줬을 때 시냅스의 크기가 커진다는 것을 저희들이 보여준 것이고요. 빨간색으로 표시된 그런 점들입니다. 그런데 memory extinction, 소거를 시켰더니 커졌던 시냅스가 다시 내려오는, 그래서 둘 간에 파란 것과 빨간 것 사이에는 통계적으로는 차이가 없는, 그런 현상을 볼 수 있었습니다.

그래서 기억이 소거되게 되면 공포기억이 저장될 때 커졌던 시냅스들이 다시 작아지는구나, 라는 그런 직접적인 증거를 눈으로 저희들이 확인할 수 있었습니다.

거기에 더 나아가서 이번에는 이런 실험을 해봤습니다. 그렇게 해서 쥐를 공포기억을 소거시킨 다음에 다시 한번 더 이번에는 진짜 전기충격을 주는 겁니다. 진짜 늑대가 나타난 그런 상황이 되는 거죠.

'삐' 소리를 들려줄 때 다시 이번에는 전기충격을 같이 연합시켜서 처리했습니다. 그랬더니 쥐는 다시 '삐' 같은 소리가 들릴 때 다시 한

번 더 강하게 얼어붙는 그런 행동을 보여주고 있고요. 이렇게 다시 얼어붙는 행동을 하고요.

그때 그 시냅스를 저희가 다시 한번 추적해보았습니다. 기억의 소거에 의해서 시냅스의 크기가 많이 약화됐었는데 다시 공포학습을 다시 재학습을 시켰더니 그 시냅스의 크기가 통계적으로 유의미하게 더 커진 것을 볼 수가 있었습니다.

그래서 저희들은 이런 일련의 실험을 통해서 내린 결론은 뭐냐면 최소한 생쥐의 경우에 공포기억을 학습할 때 시냅스가, 기억세포들 간에 연결된 시냅스가 노란색으로 표시돼있는데요. 이렇게 커지는 걸 볼 수가 있었습니다. 파란색으로 표시된 것은 공포기억 저장과는 관계없는 다른 시냅스라고 보시면 되겠습니다.

커진 걸 볼 수 있었고, 공포기억이 소멸 내지는 소거됐을 때 이 노란색의 시냅스 크기가 줄어든 것을 알 수가 있었고요. 그러고 나서 다시 공포기억을 공포학습을 다시 시켰을 때는 또다시 노란색으로 표시되는 공포기억에 저장되는... 저장에 관련되는 시냅스의 크기가 다시 원래대로 복원되는 그런 상황을 볼 수 있었습니다.

그래서 이것은 기억현상을 연구하는 데도 굉장히 중요한 의미가 있는데, 뭐냐면 기억이 어떤 상태에 있느냐, 공포기억이 생겼느냐, 소거됐느냐, 다시 생겼느냐에 따라서, 똑같이 그 상태에 따라서 시냅스가 다시 커졌다가 작아졌다가 다시 커지는 그런 연관성을 보여준다는 점에서 기억의 상태를 시냅스가 반영하고 있다는 점에서 저희들이 그 연구에 의미가 있다고 볼 수 있겠습니다.

그래서 결론을 말씀드리면 공포 연합학습의 기억저장 시냅스를 저희들이 영상으로써 현미경을 통해서 볼 수 있게끔 표지에 레이블을 할 수가 있었고요. 그리고 그 공포기억이 소거될 때는 이런 시냅스의 연결이 약화되는 것을 저희들이 발견했고요.

그래서 이런 연구는 사실 외상 후 스트레스 장애와 관련돼서 굉장히 의미가 있는 연구라고 볼 수 있는데요. 그래서 이런 기억 관련 질환 치료 및 예방에 어떤 도움이 되지 않을까, 라는 그런 말씀을 드릴 수가 있겠습니다.

저희 제1저자로서 최동일, 김지일 박사, 김주영, 이훈원 박사과정이 큰 역할을 했고요. 본 과제는 과기정통부의 리더연구자사업으로 지원되었음을 말씀드립니다.

궁금하신 부분 있으면 질문받도록 하겠습니다. 감사합니다.

[질문 · 답변]

※마이크 미사용으로 확인되지 않는 내용은 별표(***)로 표기하였으니 양해 바랍니다.

<질문> 세계적인 학술지에 논문으로 발표하신 것을 기자가 질문하는 게 옳은지 모르겠는데요. 그냥 SF적 질문을 던지겠습니다. 일단 이 연구가 PTSD 치료에 기여하실 거라고 하셨는데, 실제로 사람을, 사람의 기억을 지우거나 아니면 완화시키는 치료를 하려면 특정 공포기억, 특정 트라우마가 기억에 저장되어 있는 저장소를 정확하게 알아야 되고, 그걸 또 물리적으로나 화학적으로나 변화시켜서 원상태로 복구시키는, 쥐, 생쥐한테 재학습시키는 수준으로는 안 될 것 같은데요. 그

렇게 하려면 어떻게 연결해야 되는 건지 궁금합니다.

<답변> 굉장히 중요한 질문을 하셨고요. 저희들이 최종적으로 지향하는 바는, 사실 저희 연구들이 지향하는 바는 보면 어떻게 그런 방향으로 지금 가고 있습니다. 그렇지만 지금 현재로서는 기술적인 한계가 있습니다.

무슨 얘기냐 하면 저희들이 그렇게 이번에는 노란색으로 공포기억과 관련된 정보를 저장하는 시냅스를 노란색으로 표시를 했지만 이게 한두 개가 아니거든요. 그리고 이거는 인위적으로 표시한 것이기 때문에, 중요한 것은 그러면 그 시냅스만을 우리가 선택적으로 선별적으로 제거한다든지 약화시키는 그런 방법을 찾아야 되거든요. 그렇게 하기 위해서는 우리가 넘어야 될 산이 많고요.

심지어는 생쥐라는 실험동물에서도 그런 새로운 기술을 적용해서 선별적으로 공포시냅스만을 제거하는 그런 일을 하는 것은 지금 당장은 불가능하지만 저희들은 그걸 해내기 위해서 하나하나씩 기술적인 문제들을 지금 해결하려고 노력하고 있습니다.

이것을 인간에게 적용한다는 그런 차원의 문제로 보게 되면 더욱 어려워진다는 것은 이해하실 거라고 생각하고요. 그렇지만 이런 것들이 한 단계, 한 단계 올라갔을 때 뭔가 다른 기억은 건드리지 않고 공포기억만을 약화, 제거는 아니더라도 약화시킬 수 있는 방법이 생기지 않을까, 라는 생각이 들고요.

사람에게 있어서 지금 적용을 고려하고 있는 하나의 기술은 있습니다. 그건 뭐냐면 저희들이 2008년에 또 사이언스에 냈던 논문 중에

하나인데요. 우리가 기억을 회상할 때 이 시냅스가 순간적으로 약해지는 순간이 있습니다. 그때 시냅스가 약화될 때 더 이상 다시 원래대로 강화되지 못하게 막을 수가 있거든요.

어떻게 막냐면 단백질 합성을 저해할 수 있는 약물을 투여하게 되면 우리가 기억을 회상할 때 시냅스는 무슨 이유인지는 모르겠는데 하여튼 약해집니다. 그때 원래대로 돌아가지 못하게 약물을 처리해서 단백질을 못 만들게 하면 원래대로 못 가고 그냥 약화된 채로 남게 되는 거거든요.

그런 원리를 이용해서 환자에게서도 공포기억을 회상할 때 고혈압 약이라든지 어떤 약물을 투여해서 그 기억이 약화되게 만드는 그런 시도들이 되고 있습니다. 그래서 그게 한 가지 지금 가능한 임상적으로 고려해볼 수 있는 한 방법이 될 거라고 생각하고요.

그런데 지금 기자님이 말씀하신 건 좀 더 시냅스에 특정적으로 이것을 조절할 수 있는 기술, 그것은 앞으로도 연구를 해야 될 거라고 생각합니다.

<질문> 그러니까 오늘 연구와 관계없을지 모르겠지만 영화 속에 나오는 외계인들이 와서 갑자기 하루 치 기억을 싹 지워버리고 사건현장을 기억을 못하게 만든다거나 그런 기술은 아직까지 상상하기 힘든 기술이라는 거죠?

<답변> 그렇죠. 우리가 치매, 알츠하이머 치매라든지 보면 우리 뇌에 여러 가지 amyloid plaque이라든지 tau, 이런 여러 가지 섬유 엉킴 이런 것들로 해서 치매가 온다고 지금 생각하고 있지 않습니까? 사실

치매 환자 치료하기 위해서 그러면 그 엉킴이라든지 plaque 이것 다 점이거든요. 피부에 있는 점처럼, 피부과에서 점을 제거하는 것처럼 뇌에 있는 점들을 다 레이저로 제거한다면 치매 치료할 수 있는 그런 하나의 좋은 시도가 될 수도 있겠죠. 그러나 현재로서는 그런 방법이 불가능하거든요.

마찬가지로 특정한 시냅스는 더 작고 더 많이 여기저기 퍼져있기 때문에 우리 뇌에는 1,000조가 되는 그런 수많은 시냅스들이 있습니다. 그런데 그중에 엉뚱한 시냅스를 잘못 건드리게 되면 우리가 너무나 소중한 기억, 이게 사라지면 안 되잖아요. 그래서 그런 부분은 앞으로 기술적으로 해결해야 될 중요한 과제라고 생각합니다.

<질문> 마지막으로 한 가지만 더 여쭙겠습니다. 한 가지만 마지막으로 여쭙겠습니다. 청각과 관계된 공포기억에만 해당되는 연구인 것 같은데요. 공포기억이라는 것이 꼭 청각에만 관계되어있지 않지 않습니까?

<답변> 예, 어떤 시각적인 자극하고 생쥐를 통해서 그런 연구를 많이 하거든요. 빛을 반짝반짝거릴 때 그러고 나서 전기충격을 주게 되면 나중에 그 똑같은 반짝반짝거리는 빛만 봐도 무서움을 느끼게 되거든요. 그것은 시각공포가 되겠고요.

그다음에 냄새도 어떤 특정한 냄새를 준 다음에 어떤 충격을 주게 되면 나중에 그 냄새만 나면 얼어붙는 그런 행위를... 그래서 어떤 센서를 모델로, 어떤 감각자극하고 공포의 소위 무조건적 자극을 연합시키느냐에 따라서 다양한 형태의 공포기억을 만들어낼 수 있는데, 중요한 것은 그 시냅스의 장소는 다 편도체, 외측 편도체에... 물론 다른 시냅스, 다른 뉴런이 되겠죠. 거기에 자리 잡는 것으로서 이해하고 있습니다.

<질문> 저는 연구방법론 중에서 이게 좀 궁금했어요. 아까 생쥐에 공포체험을 한 뒤에 그다음에 자극은 빼고 소리만 주면서 공포를 줄이는 과정이 있었잖아요. 이게 생쥐마다도 다 다를 것 같은데, 이게 몇 분을 주느냐, 하루를 주느냐, 이틀을 주느냐, 3일을 주느냐에 따라서 공포가 줄어드는 그 크기도 다를 거고 다 다를 텐데요. 그런 것들은 어떤 식으로 계량화를 시켰는지가 궁금하고요.

만약에 생쥐에서도 이게 정말 생쥐마다 다 달랐다면 이걸 임상으로 간다고 그러면 더 다양하고 더 복잡해질 텐데 그런 부분들이 앞으로 후속연구에서 어떤 식으로 반영이 될 것인지 그게 좀 궁금합니다.

<답변> 예, 지금 그 실험과정을 보여주고 있는데, 일단 여기서는 지금 4마리, 5마리를 사용한 건데요. 보십시오. 저희가 처음에는 공포학습을 시켰을 때 얼어붙는 정도가 이렇게 한 40~70%까지 이렇게 돼있습니다. 쥐들마다 약간 변이는 있죠. 이 쥐는 약간 덜 학습이 됐다, 이렇게 볼 수도 있겠죠.

그런데 그런 쥐들이 소위 공포기억이 소거되고 나면 이렇게 얼어붙는 게 거의 없어지는, 그래서 기억이 소거된다는 것을 이렇게 좀 짝으로서 보여준 겁니다.

그래서 이 쥐는 이렇게 됐고, 이 쥐는 이렇게 됐고, 이 쥐는 이렇게 됐고, 이렇게 해서 쥐들마다 약간의 variation이 있지만, 이것을 통계적으로 처리하게 되면 유의미한, 전체 집단의 평균을 내게 되면 공포를 느낄 때는 한 대략 전체 평균적으로 한 50~60% 얼어붙는. 이것은 뭐냐면, 소리를 '삐' 들려줄 때 쥐가 그 소리를 듣는 순간에 한 반

정도는 얼어붙는다는 얘기입니다.

그런데 여기는 지금, 기억을 소거시키지 않은 경우에는 지금 공포 기억이 이렇게 많이 남아 있거든요. 이 쥐는 여전히 좀 더 높아지기도 하고, 떨어지기도 하고. 그래서 전체적으로 평균을 내게 되면 이 두 그룹 간에는 차이가 없다.

그래서 동물실험은 이런 개체 간의 변이는 있을 수밖에 없습니다. 그래서... 왜냐하면 우리가 쥐들의 마음을 정확히는 모르거든요. 어떤 상황에 있었는지 그것을 전혀 모르기 때문에요.

그래서 가능한 한 균질한 조건에서 똑같은 조건으로 실험하도록 무진장 노력합니다. 그다음에 연구자도 같은 연구자가 하고, 가능한 한 하루 중에서도 같은 시간대에 해야 되고, 같은 장소에서. 그렇게 해서 실험 조건을 가능한 한 동일하게 하는데도 여전히 개체 간에 variation이 있기 때문에.

그래서 한두 마리 가지고서는 안 되고요. 여러 마리의 연구를 통해서 그 평균을 내서 통계적으로 이게 의미가 있는 것인지, 없는 것인지, 그것을 가지고 저희들이 판정을 하게 됩니다.

<질문> 그러니까 이게 지금 교수님이 말씀하신 것 중에 들어보면, 어쨌든 '확률적으로는 어느 정도 평균을 낼 수가 있지만 각 개체마다 너무나 다른 특성을 보인다.'라는 그런 식으로도 이해가 될 것 같고요.

<답변> 너무나 다르지는 않고요. 뭐 거의 비슷한데 조금씩 변이는 이렇게 들어있는...

<질문> 저쪽 데이터도 뭐 그런 것 같아요, 어쨌든.

그다음에 두 번째는 이게 지금 자료에 보면, '공포기억 소거'라는 용어를 쓰셨는데, 이게 소거라는 건 아니지 않잖아요? 이게 좀 줄어든다든가 그런 의미이지 이게 완전히 기억에서 사라진다는 의미는 아니지 않아요?

<답변> 저희들이 그 학문적인 용어로는 memory extinction이라고 그러는데요, extinction. extinction 할 때, 우리 그... '종의 멸종' 할 때 extinction이라는 말을 또 쓰기도 하는 것 같더라고요.

그런데 저희 신경과학 하는 연구자들이 이런 공포학습을 하고 공포기억을 할 때 이렇게 똑같은 조건에서 전기충격만 주지 않고 계속 똑같은 자극을 줬을 때 사라지는 이런 현상을 'extinction'이라는 말로써 저희들이 정의를 내려서 표현하고 있습니다. 그래서 그것에 따라서 용어를 사용한 겁니다.

번역은 '소거', '소멸' 여러 가지가 있을 수 있는데, '소거'라는 게 우리 한국... 우리말 용어로써 가장 많이 쓰는 용어인 것 같습니다.

<질문> 마지막으로 아까 제가 사전에 질문드렸던 게 있거든요. 한 달 전에 나왔던 카이스트 한진희 교수님 연구논문하고 강 교수님 연구논문의 차이가 뭔지만 좀 짧게 설명해주세요.

<답변> 일단 실험 방법론이 좀 다르고요. 한진희 박사님 연구는 편도체에 어떤 신경세포들이 공포학습을 통해서 변하는지 그것을 미리 예

측 가능하게끔 소위 실험적으로 manipulation, 조작을 가한 겁니다.

뭐냐 하면, 거기에 opsin을 발현시켜서 그것을 빛으로써 특정한 opsin만 발현하는 세포들을 자극을 줄 수가 있거든요. 그렇게 되면 그 한진희 박사가 전부터 해왔던 일이 뭐냐면, 공포기억을 저장할 때 특정한 뉴런들이 선택적으로 recruit, 동원돼서 기억 저장하는 세포로 되는데, 요즘 올림픽 많이 하니까 그런 것 있지 않습니까? 후보선수들이 많은데, 경기 직전에 컨디션이 굉장히 좋은 선수가 있을 수 있지 않습니까? 그러면 감독 입장에서는 전에는 기록이 좀 안 좋아도 오늘 너무 컨디션이 좋으니까 한 번 내보낼 수 있는 것이지 않습니까? entry로. 그런 콘셉트이거든요.

그래서 어떤 세포가 기억 저장에 참여하게 될지는 그 학습이 일어나는 직전에, 바로 그때 굉장히 활동이 높은 세포들이 있습니다. 그런 세포들이 선택적으로 동원된다는 게 잘 알려져 있거든요.

그런 현상을 이용해서 신경세포에 opsin이라는 그런 빛에 의해서 전기적으로 활성을 띄게 해주는 그런 유전자를 넣어서 발현시킨 다음에 이렇게 공포학습을 시키기 전에 빛을 줍니다. 그러면 그 뉴런들이 막 활성화되겠죠. 그러면 학습이 이루어지고 나서 그 활성화됐던 뉴런들이 선택적으로 기억 저장하는 세포로 이렇게 전환이 되는 거거든요. 그리고 그 전환된 세포들이 청각피질과 그다음에 외측 편도체에 있는 그런 세포들이 연결이 더 잘 된다는 것을 보여준 것이거든요.

그렇기 때문에 공포기억이 저장되는 그런 과정에 시냅스가 활성화되면 그 시냅스가 기억 저장하는 시냅스로 쉽게 간다, 선택된다, 라는 것을 소위 보여준 게 그 논문의 핵심이라고 볼 수 있겠고요.

저희들은 그게 아니라, 그냥 natural하게, 자연적으로 공포학습을 했을 때 형성되는 그 시냅스율을 저희 현미경으로 볼 수가 있었고요. 그 시냅스를 계속 관찰했더니 기억이, 공포기억이 소거될 때 그 시냅스들이 다시 약화되더라, 그리고 또 그 공포기억을 다시 재학습했더니 그 시냅스가 다시 커지더라, 라는 그런 결과를 저희들이 관찰했기 때문에, 사실 그 두 논문의 제목만 이렇게 보면 키워드가 비슷하게 나와서 좀 비슷한 것 같은데, 사실은 굉장히 다른 측면에서 연구하신 거라고 보시면 되겠습니다.

감사합니다.

<끝>