



강지우 | 김도균 | 김서영 | 김혜원 | 박관웅 | 박은서 | 서민경 | 이기훈 | 차진경

# 순서

1. 천재도 많은 종류가 있는데 우리는 과학에 관심이 많은 입장이다 보니 천재의 예시로 노벨상을 받은 사람들이라고 특정을 지은 것 같은데 만약에 음악 특히 악기를 연주하는 연주자나, 스포츠의 측면에서 천재라고 불리는 사람에 대해서는 어떻게 생각하시나요? (강지우) **1pg**
2. 우리가 실제로 의식하는 정보는 어떤 조건에 의해서 결정될까요? 특정 뇌의 영역이 우리의 의식을 담당하고 있는 걸까요? 아니면 네트워크 상에서 특정 조건을 달성하는 것에 대해서만 의식적으로 인지할 수 있는 걸까요? (김도균) **2~3pg**
3. 천재는 타고나는 것일까요? 만들어지는 것일까요? 어느 부분이 더 지배적이라고 생각하시나요? (김서영) **4~5pg**
4. 과연 사람마다 흥미를 느끼는 포인트가 다른 이유가 뭘까요? 아이들만 봐도 제각각 좋아하는 게 다른데, 이건 두뇌가 형성될 때부터 타고난 선천적인 것일까요? 그렇다면 뇌의 어느 부분이 이를 관장할까요? (김혜원) **6~7pg**
5. 자발적 회복을 보면 한번 학습된 행동을 완전히 잊어버리는 것은 어려운 것 같은데요. 특별한 뇌의 물리적 손상 없이 학습과 반대로 완전히 망각하는 것이 가능한지, 망각에 대한 연구에서 실험은 어떻게 진행되는지 궁금합니다. (박관웅) **8~10pg**

# 순서

6. 뇌파의 주파수에 따라 알파파, 델타파 등등 종류가 나뉘고 각각 이름도 있는데요. 각 뇌파의 이름은 어떻게 지어진 건지 궁금해졌어요. 그리고 각 파장의 정의 (예를 들어 **4-8Hz**는 세타파)가 어떻게 정해진 건지도 궁금해요. (박은서) **11~12pg**
7. 제 친구가 뇌척수액 유출로 입원을 했어서 뇌척수액에 대해서 찾아보고 있었습니다! 여기서 갑자기 궁금해진건데, 뇌척수액에는 왜 적혈구가 없을까요? 뇌는 산소를 많이 필요로 하는 기관인데 직접적으로 바로 뇌까지 산소를 가지고 가면 더 효율적이지 않을까요? (서민경) **13~14pg**
8. 습관은 선천적인 뇌구조 혹은 기능과 관련이 있을까요? 어린이들을 보면 자기도 모르게 손톱을 뜯거나 다리를 떨거나 하는데 이런 행동 습관들은 어떤 원리로 작용하는지 (행동이니만큼 **motor neuron**이 작용하는 걸테고, 그럼 이는 우리가 다리를 떨자!라고 생각하지 않는데 어떻게 중추에서 오더를 내리는건지) 행동습관을 할 때 뇌에서의 반응이 궁금합니당! (이기훈) **15~16pg**
9. 제 친구가 뇌척수액 유출로 입원을 했어서 뇌척수액에 대해서 찾아보고 있었습니다! 여기서 갑자기 궁금해진건데, 뇌척수액에는 왜 적혈구가 없을까요? 뇌는 산소를 많이 필요로 하는 기관인데 직접적으로 바로 뇌까지 산소를 가지고 가면 더 효율적이지 않을까요? (차진경) **17~19pg**



## 【강지우】

질문: 천재도 많은 종류가 있는데 우리는 과학에 관심이 많은 입장이다 보니 천재의 예시로 노벨상을 받은 사람들이라고 특정을 지은 것 같은데 만약에 음악 특히 악기를 연주자나, 스포츠의 측면에서 천재라고 불리는 사람에 대해서는 어떻게 생각하시나요?

천재성이라는 것을 논할 때, 보통 어떤 특별한 재능이나, 통찰력, 남들이 일반적으로 해내지 못하는 것을 했을 때 그런 사람에 대해 천재라고 부릅니다. 노벨상을 받은 사람들은 물론, 유명한 연주자, 운동선수 등 천재라는 이름을 갖다 붙여서 부르는 경우는 흔하게 볼 수 있습니다. 특히, 선천적으로 '재능'이라는 것이 보이는 천재와 관련해 뇌과학적인 측면에서 그 천재성의 이유에 대한 궁금증은 오래전부터 있어왔습니다.

다양한 분야의 재능은 반구의 기능적 비대칭성(functional asymmetry)을 참고해 이해할 수 있을 것 같습니다. 흔히 좌반구는 언어, 시간적 순서의 이해, 의도적인 운동을 우세하게 처리하는 반면, 우반구는 주로 공간지각, 색채, 위치, 음계지각, 정서적 자극을 더 잘 처리하는 것으로 알려져 있습니다. 한 연구에 따르면 청각적 반구 비대칭성을 알아내기 위해 실험 쥐에게 음악을 들려주고 뇌파 혹은 유발전위를 측정한 결과, 소리에 대해서는 우반구의 전위가 더 높았고, 구화에 대해서는 좌반구의 처리가 더 주요하게 작용했다고 합니다 (Witelson&Swallow, 1999). 이러한 측면을 고려했을 때 어느 정도의 반구 비대칭성이 다양한 종류의 재능을 설명하는 데 도움이 되지 않을까 생각합니다.

천재성을 뇌의 구조로부터 규명하려는 연구도 끊임없이 진행이 되어 왔는데, 이 중 흥미로운 실험은 아인슈타인의 뇌를 해부학적으로 연구한 것입니다. 아인슈타인의 뇌는 일반 노인에 비해 두께, 길이 등의 측면에서 더 큰 것으로 나타났다고 합니다. 2014년 포크교수의 연구에 따르면, 양쪽 반구의 특정 영역 사이 연결이 광범위하게 이루어진 것으로 해석되었고, 이를 그의 지능, 시공간 기술, 수학적 재능을 뒷받침하는 근거로 추정했습니다. 다만 이러한 해석이 연구에 대한 기대 심리 때문에 객관성을 잃은 것이 아닌지 하는 우려의 목소리도 있었습니다.

현대 뇌과학자들은 천재의 뇌는 그 구조와 크기 측면에서는 일반 사람들과 크게 다르지 않다고 합니다. 다만 지능이 높은 사람일수록 어떤 문제를 해결할 때 필요한 뇌세포의 수가 적다는 연구결과가 나왔다고 합니다. 즉, 뇌가 작동하는 방식이 좀 더 효율적이라는 것입니다. 하지만 구체적으로 더 나아가 천재의 뇌가 일반 사람들의 뇌와 갖는 차이점을 발견하지는 못했습니다. 뇌의 구조를 그 기능과 연결시켜서 천재성을 규명하려는 시도가 많이 이어져 왔지만, 그 해석이 과학자에 따라 다를 수 있다는 점은 아직 뇌과학 기술이 더 가야할 길을 보여주는 것 같습니다.

## References

Witelson, S.F., D.L. Kigar, and T. Harvey, The exceptional brain of Albert Einstein. *Lancet*, 1999. 353(9170)

Falk, D., F.E. Lepore, and A. Noe, The cerebral cortex of Albert Einstein: a description and preliminary analysis of unpublished photographs. *Brain*, 2013. 136(Pt 4)

## [김도균]

질문: 우리가 실제로 의식하는 정보는 어떤 조건에 의해서 결정될까요? 특정 뇌의 영역이 우리의 의식을 담당하고 있는 걸까요? 아니면 네트워크 상에서 특정 조건을 달성하는 것에 대해서만 의식적으로 인지할 수 있는 걸까요?

### 1. 의식이 발생하는 조건

아직 의식에 대해 정확하게 규명된 것은 많지 않기 때문에 확실하게 답할 수 있는 것은 많지 않다. 하지만 나름의 가설 정도는 세워볼 수 있을 것 같다. 먼저 사전의 뜻풀이를 보면, “의식(consciousness)”은 자신과 자신 주변을 지각 또는 감각하는 정신작용 또는 그 상태를 말한다. 그러나 신경과학에선 의식과 관련해 여전히 많은 수수께끼가 남아 있다. 무엇보다 뇌에서 의식이 어디에서, 어떻게 생겨나는지가 밝혀지지 않았다. 하버드대학 의과대 베스이스라엘의료센터(Beth Israel Deaconess Medical Center; BIDMC)의 마이클 폭스(Michael Fox) 박사는 의료센터 보도자료에서, 의식을 일으키는 두 가지 필수조건이 각성(arousal)과 지각(awareness)이라고 말한 바 있는데, 이 말을 기반으로 질문에 대한 잠정적인 대답을 생각해 보자면, 우리가 실제로 의식하는 정보는 바텀-업 프로세서와 탑-다운 프로세서의 합작이라는 것에서부터 시작해야 한다[1]

감각기관을 통해 들어온 정보가 대뇌피질로 모이면서 해당 정보와 관련된 경험, 기억을 불러일으키는 현상이 ‘각성’(바텀-업), 각성된 정보를 바탕으로 의식적으로 정보를 인식하려는 주의를 기울이는 현상을 ‘지각’(탑-다운)이라고 가정해보면, 네트워크 상에서 특정 조건을 달성한다는 것을 ‘각성’을 일으킬 수 있는가 즉, 의식의 조건을 입력된 정보가 과거의 경험을 불러일으킬 수 있는가로 생각할 수 있다. 이 때 본적 없는 것에 대해 집중하는 것 역시도 현재 가진 기억을 기준으로 판단하였을 때 새롭게 느껴지는 것에 대해 파악하려는 것으로 설명할 수 있다. 그러므로 과거의 경험이 각성의 기준이 되는 것이고, 그 기준을 바탕으로 주의를 필요로 하는 변화 혹은 생각 발생하는 것을 의식의 조건으로서 생각해 볼 수 있을 것 같다.

### 2. 의식을 담당하는 뇌의 영역

다음으로 우리의 의식을 담당하고 있는 특정 뇌의 영역 또한 쭉 집어 어느 영역에서 어떻게 일어나는지는 규명되지 않았다. 그래도 이와 관련하여 연구된 자료 몇 개를 찾을 수 있었는데, 그 중 하나가 미국 하버드대학 의과대 베스이스라엘의료센터(BIDMC)의 연구팀이 뇌 손상 환자들을 대상으로 연구해 의식의 조절에 중요한 구실을 하는 것으로 보이는 뇌 영역들과 그 연결망을 찾았다고 보고한 것이다.

연구팀은 뇌간(뇌줄기) 부위가 손상된 환자 36명을 대상으로 연구를 진행했는데, 이 중 12명은 혼수상태에 빠져 있었으며 24명은 의식상태를 유지했다. 연구진은 똑같이 뇌간이 손상 됐음에도 이런 차이가 나타나는 이유를 찾기 위해 뇌간 부위를 자세히 추적해, 뇌간의 ‘교뇌피개’라는 부위에 있는 작은 지점이 혼수상태와 밀접하게 관련이 있다는 결론을 얻었다. 이를 바탕으로 연구팀은 이미 알려진 건강한 뇌의 연결망 지도를 활용해 뇌간의 이 지점과 연결된 대뇌피질 쪽의 두 영역(좌측 앞배쪽 층엽, 앞쪽 대상피질)을 찾아낼 수 있었다.

뇌간 영역과 멀리 떨어진 대뇌피질 영역들의 ‘연결’이 실제로 의식과 관련이 있는지를 연구팀이 확인하기 위해 기능성 자기공명영상(fMRI)을 써서 앞서 뇌간(뇌줄기) 부위가 손상된 환자 36명의 뇌를 관찰했다. fMRI 조사 결과 12명 혼수상태 사람들 중 10명한테서 이 지점이 손상되었음을, 의식상태가 유지된 24명 중에서는 1명만이 이 지점이 손상되었음을 확인했고, 이 외에도 혼수상태 환자 45명의 뇌를

관찰한 결과 이 연결망이 손상되었음을 확인했다. 연구진은 “뇌간 안 작은 영역의 손상이 혼수상태와 뚜렷이 연관되며 이곳과 대뇌피질 두 곳의 연결이 끊어질 때 의식장애가 나타난다”며 “이 연결망이 의식의 유지에서 일정한 역할을 하는 것으로 여겨진다”는 결론을 제시했다.[2] [3]

다음으로 미시건 의대 조지 마셔(George A. Mashour) 교수가 발표한 ‘The controversial correlates of consciousness’이란 논문은 전전두엽 피질(Prefrontal Cortex)이 시각정보 처리를 수행하는 중요한 뇌부위임을 강조하고 있는데, 이 연구는 영장류를 통해 ‘신호탐지 이론(signal detection theory)’, ‘전역 뉴런 작업공간 이론(neuronal workspace theory)’을 검증하는 식으로 진행됐다.

‘신호탐지 이론’은 자극을 통해 지각 과정을 설명하는 이론이고, ‘전역 뉴런 작업공간 이론’이란 뉴런에서 의식이 발화하며, 많은 감각 정보가 공통의 작업 공간에서 섞이면서 의식이 일어난다는 이론이다. ‘전역 뉴런 작업공간 이론’은 지난 십여 년 간 흥분성 뉴런(excitatory neurons), 피질 등을 통해 일어나는 인지과정을 설명하는데 적용되어왔다. 연구팀은 ‘신호탐지 이론’을 확인하기 위해 영장류에 특정한 자극을 준 후 눈의 움직임이 어떻게 변화하는지 그 변화 과정을 정밀 분석했다. 그리고 전전두엽 피질 활동이 정화돼 전체적인 시각 정보를 처리하고 또한 통제하고 있다는 것을 확인했다.

연구팀은 영장류 뇌를 통해 흥분성 신경세포가 자극으로 인한 신호를 증폭시키지만, 또한 억제 과정을 통해 오류를 범하지 않는다는 사실을 확인했다. 논문은 영장류를 대상으로 한 이 연구 결과에서 시신경으로부터 흥분을 받아들이는 시각피질(visual cortex)과 뇌 앞 부분에 있는 배외측 전전두엽(Dorsolateral Prefrontal Cortex)이 시각적 자극에 대해 동시 반응을 일으키고 있다고 밝혔다. (시각피질이란 대뇌피질 내에서 직접 시각 정보처리에 관여하는 영역으로 후두엽에 위치한다.) 즉, 뇌 앞부분에 위치하면서 창의성과 함께 작업 기억력과 의사결정력 그리고 사회적 상호작용에 영향을 미치는 배외측 전전두엽이 시각적인 정보를 인식하는 과정에서 자가조절을 포함한 인지 조절에도 중요한 역할을 하고 있는 것으로 확인되고 있다.

하지만 이 연구는 시각 시스템을 중심으로 감각 처리 과정에 집중되어 있기 때문에 내성적인 의식 경험에 대해서 접근하고 있는 것은 아니며, 의식 경험에 대한 연구가 사람이 아닌 영장류에 집중되고 있다는 점에서 한계가 있다. 때문에 영장류 실험을 통해 인간 의식 메커니즘을 어느 정도까지 추정해낼 수 있느냐는 질문도 제기되고 있다고 한다.[4]

[1] 오철우, 「'의식이 일어나는 곳', 뇌 영역 연결망 찾았나?」, 한겨레, 2016-11-09, page 1.  
<http://scienceon.hani.co.kr/449222>

[2] 오철우, 「“의식 조절하는 뇌 영역과 연결망 찾아”」, 한겨레, 2016-11-23, page 1.  
[https://www.hani.co.kr/arti/science/science\\_general/771574.html#csidx811a80a5efdefb49d14f962decd8487](https://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/771574.html#csidx811a80a5efdefb49d14f962decd8487)

[3] Fischer, D. B. et al, A human brain network derived from coma-causing brainstem lesions, Neurology 87, 2427–2434 (2016).

[4] 이강봉, 「인간 의식 메커니즘의 실체는?」, The Science Times, 2018.05.04, page 1.  
<https://www.sciencetimes.co.kr/news/%EC%9D%B8%EA%B0%84-%EC%9D%98%EC%8B%9D-%EB%A9%94%EC%BB%A4%EB%8B%88%EC%A6%98%EC%9D%98-%EC%8B%A4%EC%B2%B4%EB%8A%94/>

## 【김서영】

질문: 천재는 타고나는 것일까요? 만들어지는 것일까요? 어느 부분이 더 지배적이라고 생각하시나요?

천재에 대한 정의가 무엇인지에 따라서 이 질문에 대한 답은 충분히 다양해질 수 있다고 생각합니다. 그렇기 때문에 천재는 타고나는가 만들어지는가에 대하여 답하기 보다는 '지능과 성격'을 결정하는 요인에 대하여 유전적 요인이 더 지배적인지 환경적 요인이 더 지배적인지에 대하여 설명을 하도록 하겠습니다.

우선 지능 및 성격에 관련하여 논의가 발생하게 된 이유에 대하여 간략하게 살펴봅시다. 나치즘에 의하여 등장한 우생학에 반하여 개인의 자유에 대하여 더 집중했던 미국에서는 환경을 훨씬 더 강조하는 입장을 내놓는데, 스키너의 학습 이론의 영향이 컸습니다. 이에 따라 지능에 미치는 유전과 환경의 영향에 대한 관심이 집중되었습니다. 그에 따라 쌍둥이를 대상으로 한 연구가 많이 진행되었는데, 이 연구들을 통해 지능에 있어 유전에 대한 영향이 크다는 것이 확인되었습니다. 또한 지능에 관련된 유전자가 발견되면서 이 주장에 큰 힘을 실어주고 있습니다. 쌍둥이에 대한 연구를 한 학자들은 양육을 통해 성격 및 지능을 바꾸는 데는 한계가 있으며 지능과 성격은 30~50%가 유전에 의해 형성되며, 나이가 들수록 지능의 결정에 유전자가 더 강한 작용을 한다고 밝혔습니다. 링크를 참조하시면 위의 내용과 쌍둥이 실험에 대한 정보를 더 자세하게 확인하실 수 있습니다.

( <http://www.hangyo.com/news/article.html?no=73379> )

그렇다면 환경적 요인을 강조하며 전 세계의 교육연구에 영향을 미쳤던 스키너의 행동주의적 학습 이론에 대하여 먼저 알아봅시다. 스키너에 따르면 변별자극이 있을 때 주체가 행동을 하게 되고, 그 행동이 강화되며, 강화된 행동이 습관이 되고 이것이 습관 성격의 일부로 자리잡게 됩니다. 스키너는 건전한 성격 및 지능의 발달이 자극의 일반화와 변별 능력이 적절하게 발달한 결과라고 보았는데요, 이 이론은 신체적, 심리적 발달에 아동의 환경이 얼마나 중요한지에 대한 기반이 되었습니다.

스키너의 이론을 부정할 수는 없습니다. 특히 유아기 때의 환경적 요인은 성격과 지능 및 행동 습관의 결정에 큰 영향을 미칩니다. 그런데 왜 나이가 들수록 쌍둥이들의 성격 및 지능이 비슷해지는 것일까요? 이에 영향을 미치는 유전자는 어떤 것일까요?

지능에 미치는 유전자를 찾기 위해서 현재는 유전자 **Mapping**을 통한 **Data-base research**를 하고 있다고 합니다. 유전자의 영향이 절대적인 것은 아니기 때문에 유전자 **mapping**만을 이용하여 사람의 IQ 범위를 추정하는 것은 어렵지만 현재 지능과 관련된 유전자를 52개 정도 발견한 상태이며 이러한 유전자들이 자폐증과도 큰 연관이 있는 것까지 확인을 하였다고 합니다. 52개의 유전자 중 지능에 대표적으로 영향을 준다고 밝혀진 유전자는 **BMPR2, SHANK3, DCC** 및 **ZFHX3**이고 다른 유전자들도 약한 연관성을 보였는데, 이중 3 개는 신경의 기능에 관여합니다. **SHANK3**는 시냅스 형성에 관여하고, **DCC**는 **netrin receptor**을 암호화하며 축삭돌기 유도와 연관이 있으며 **putamen volume**과도 연관이 있습니다. **ZFHX3**는 근육 세포와 신경 세포의 분화를 조절하는 것으로 알려져 있으며, 네 번째 유전자인 **BMPR2**는 배 발생 및 연골 내 골 형성에 중요한 역할을하는 것으로 알려져 있습니다. 어떻게 위의 유전자들이 지능과 연관되어 있는지를 찾아냈는지가 궁금하시거나 유전과 지능의 관계가 궁금하시다면 꼭 다음의 논문을 읽어보시는 것을 추천드립니다.

Genome-wide association meta-analysis of 78,308 individuals identifies new loci and genes influencing human intelligence  
Suzanne Sniekers, Sven Stringer, [...] Danielle Posthuma

앞으로 더 알아보아야 할 부분은 지능에 영향을 미치는 요인인 유전자들에 대하여 후생적인 변이가 존재한다고 합니다. 이에 대하여 환경은 어떤 영향을 미치는지 등에 대한 연구가 필요하며 진행중이라고 하니 추후 환경과 유전이 지능에 미치는 영향을 더 선명하게 알 수 있을 것 같습니다

## 참고문헌

- “지능과 성격은 얼마나 유전될까.”, 한국교육신문, [www.hangyo.com/news/article.html?no=73379](http://www.hangyo.com/news/article.html?no=73379).
- 임선영. (1994). 현대의 사상 : 스키너의 행동주의 - 상자 속에 숨어있는 희망을 찾아 떠나는 모험. *Monthly Korea Journal*, 53(0), 208-212.
- Suzanne Sniekers etc (2017), Genome-wide association meta-analysis of 78,308 individuals identifies new loci and genes influencing human intelligence, *Nature Genetics*

## 【김혜원】

질문: 과연 사람마다 흥미를 느끼는 포인트가 다른 이유가 뭘까요? 아이들만 봐도 제각각 좋아하는 게 다른데, 이건 두뇌가 형성될 때부터 타고난 선천적인 것일까요? 그렇다면 뇌의 어느 부분이 이를 관찰할까요?

### 1. 감정이란?

뇌과학에서는 감정을 포유류의 뇌에서 변연계를 중심으로 조직되는 즐겁거나 불유쾌한 마음의 상태라고 말한다. 파충류는 후각을 중심으로 본능적으로 행동하지만 포유류는 파충류보다 발달한 변연계와 대뇌피질로 인해 복잡한 반응이 가능하다. 진화의 초기에는 냄새가 먹이를 찾고 적을 감지하며 짹짓기에 중요했기 때문에 후각과 연결된 변연계에서 발달한 감정의 느낌 역시 냄새를 맡는 방식과 비슷하게 발달했다. 공포, 분노, 슬픔 그리고 기쁨 같은 기본 감정은 정도와 수준의 차이는 있지만 포유류가 진화하면서 공통적으로 가지게 된 감정들이다. 예를 들면 사랑은 자식을 먹이고 보살피기 위한 뇌의 회로가 진화되면서 갖게 된 감정이다.

따라서 1차적인 감정은 모든 인간이 공통적으로 가지게 되고, 살아남는데 꼭 필요한 뇌의 정보처리 방식이다. 제아무리 고립된 오지의 사람을 만나도 우리는 웃는 것으로 인사를 할 수 있다. 웃음이 인간 공통의 감정 표현이기 때문이다. 또 인간은 태어난 지 며칠 지나지 않아 배우지 않아도 미소를 지을 수 있고 3개월 내에 소리 내어 웃을 수 있다. 아기가 따라 웃는 것이 부모와 자식 사이에 매우 중대한 연결고리를 만드는 역할을 하기 때문이다. 뇌의 구조와 연결해서 본다면 1차적 감정은 변연계, 특히 편도와 앞쪽 대상이랑(anterior cingulate gyrus)의 작용으로 이루어진다.

2차적 감정은 학습을 통해 사물, 사건, 상황에 연결되는 감정들이다. 치과의 집게만 봐도 겁이 난다든가 하는 사고 처리가 필요한 복잡한 감정의 경우가 2차적 감정들이다. 사물과 사건을 파악하고 이전의 기억을 분석하는 발달된 대뇌피질 덕분에 인간의 감정은 더욱 복잡하면서도 고도로 발달해왔다.

### 2. 뇌와 감정의 관계

사람의 감정 변화에 반응하는 뇌 부위는 대뇌 변연계(limbic system) 깊숙한 곳에 위치한 편도체(amygdala)다. 변연계는 하나의 덩어리가 아니라 기쁨과 슬픔, 분노와 행복 등 다양한 감정을 관찰하는 신경망이 고리처럼 연결돼 있다. 편도체는 '감정의 관문'이다. 크기는 작지만 각 부분이 각기 다른 감정을 관찰하는 복잡한 구조를 이루고 있는 구조다. 때문에 적절한 자극에 자물쇠가 열리듯 반응하고 감정의 여러 반응을 이끌어낸다. 감정 반응의 마지막 단계는 호르몬 작용이다. 기분을 좌지우지하는 도파민, 세로토닌(행복, 즐거움 등 긍정적 정서를 느끼게 만드는 신경전달물질) 등 호르몬 분비가 시작되면서 얼굴 근육이 변화한다. 웃거나 찌푸리는 등 표정이 바뀌고 손사래를 치거나 도망가는 등 특정 행동이 취해진다.

한편 전전두피질(prefrontal cortex)의 일부 영역도 감정을 유발한다. 전전두피질은 보다 복잡한 감정 자극인 동정심이나 죄의식 등 사회적 감성에 관여한다. 개인적 경험으로 기억된 감정 자극도 전전두피질이 작용한다. 전전두피질은 자기를 인식하고, 행동을 계획하고, 불필요한 행동을 억제하고, 문제해결을 위한 전략을 수립하고, 의사결정을 하는 등 인간이 동물과 구별되는 능력에 관여한다. 감정을 관찰하는 변연계 도파민 시스템과도 연결되어 있다. 편도체가 감정을 관찰한다면 전전두피질은 이런 감정들을 조절하면서 상호작용한다. 예를 들어 우리가 불안이나 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느낄 때, 편도체와 오른쪽 전전두피질이 활성을 나타낸다. 반대로 낙천적이고 열정에 차 있고 기력이 넘치는 긍정적 감정 상태에 있을 때는 편도체와 왼쪽 전전두피질이 활기를 띤다. 즉 오른쪽 전전두피질이 활발해지면 불행과 고민이 많아지고, 왼쪽 전전두피질이 활발해지면 행복감과 열정이 넘치는 것이다.

### 3. 감정의 개인적 차이

특정 자극에 대한 감정적 반응은 개인에 따라 다르다. 같은 대상에 대해 어떤 이들은 강한 흥미를 느끼는 반면, 다른 이들은 흥미를 느끼지 못하거나, 심지어 거부감이나 공포감을 느낄 수도 있다. 이러한 감정적 개인차가 생물학적 요인에 의한 선적적인 결과물이라는 입장과 환경적 요인에 의한 후천적인 결과물이라는 입장이 양립한다. 최근의 연구에 의하면 감정의 차이의 개인적인 경험의 차이에서 비롯된다고 한다.

미국의 하버드대 메사추세츠종합병원의 로라 저마인 교수와 웨리슬리대 제레미 월머 교수를 비롯한 공동연구팀의 조사에서 얼굴에 대한 개인별 미적 선호도를 조사했더니 같은 인물에 대해서 50%는 동의하지만 50%는 동의하지 않는 것으로 나타났다. 연구팀은 이 차이가 유전적인 이유이거나 가정환경적인 이유 때문일 것이라는 가정을 세우고 연구를 시작했다. 기존의 몇몇 연구에서 외적인 선호도에 있어서 키나 근육 같은 물리적 특징을 우선한다는 점에서 아름다움이나 매력에 대한 선호도가 유전자에 기록돼 있을 것이라고 예상했다. 하지만 예상과 달리, 연구 결과 개인적인 경험의 차이가 선호도의 차이로 이어졌다는 결론이 도출되었다.

연구는 쌍둥이들을 대상으로 이루어졌는데, 먼저 547쌍의 일란성 쌍둥이와 214쌍의 동성인 이란성쌍둥이에게 200명의 얼굴을 보여줬다. 그리고 그들에게 가장 매력적인 얼굴에 7점, 가장 덜 매력적인 얼굴에 1점을 부여도록 했다. 그런 다음 쌍둥이가 아닌 660명의 집단에게도 같은 조사를 실시했다. 만약 유전적인 영향을 받는다면 일란성쌍둥이들은 200개의 얼굴에 모두 비슷한 점수를 줬을 것이다. 또 가족적인 환경의 영향을 받는다면 이란성 쌍둥이들이 비슷한 점수를 줬을 것이다. 그런데 조사 결과 쌍둥이들이 얼굴마다 부여한 점수에서 큰 차이를 보였다.

결론적으로, 미적 선호도에 대한 개인차는 유전적 혹은 가정환경적 요인에 의한 것이 아니다. 이는 개인이 살면서 체험하는 독특한 경험의 축적물이다. 비슷하게, 흥미의 차이에 관해서도, 인간이 선적적으로 특정 대상에 대한 흥미를 가지도록 유전적으로 설계되는 것이 아니라 경험적인 학습의 차이가 흥미의 차이를 유발한다고 볼 수 있을 것이다.

## 【박관웅】

질문: 자발적 회복을 보면 한번 학습된 행동을 완전히 잊어버리는 것은 어려운 것 같은데요.

- 1 특별한 뇌의 물리적 손상 없이 학습과 반대로 완전히 망각하는 것이 가능한지
- 2 망각에 대한 연구에서 실험은 어떻게 진행되는지 궁금합니다.

① 특별한 뇌의 물리적 손상이 없더라도 시간이 지남에 따라 시냅스 연결의 약화나 신경세포의 사멸 등의 이유로 망각이 진행된다는 것에는 이견이 없을 것입니다. 그런데 질문의 핵심은 “완전히 망각하는 것”에 맞춰져 있다고 생각합니다. 우선, 완전한 망각이 가능하더라도 그것을 실험적으로 보이는 것이 어렵다는 점을 확인하고 갈 필요가 있을 것 같습니다.

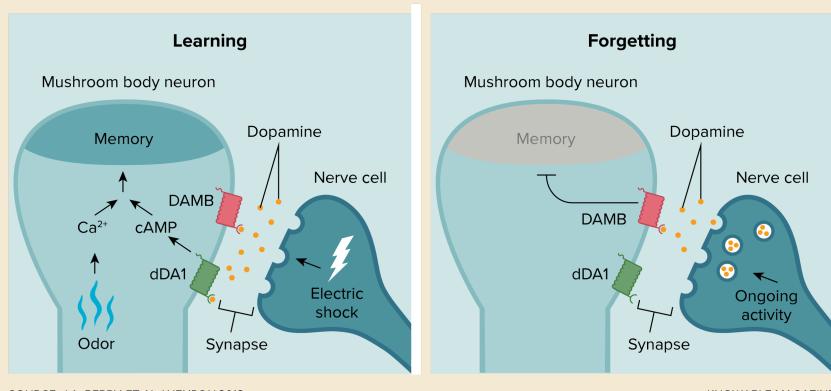
기억 연구에서 자주 활용되는 실험으로 단어와 이미지를 짹지어 학습한 뒤에 시간을 두고 망각의 정도를 확인하는 실험이 있습니다. 이 실험을 진행한다고 할 때, 피험자가 정답을 제시하지 못하더라도 그 결과가 기억 자체의 제거에 의한 것인지 아니면 기억을 인출하는 과정에서 발생한 문제에 의한 것인지 확인하기가 어려울 것입니다. 행동실험으로 완전한 망각 여부를 파악하기 어렵다면 시냅스나 세포 수준에서 기억의 인출과 관련된 신호 전달과 세포 내 물질이 사라졌는지를 실험할 수 있겠지만, 특정 기억에 관여하는 세포를 선별하고 각각의 세포에서 발생하는 일련의 신호전달 메커니즘을 파악하기까지는 아직 연구가 더 진행되어야 하는 상황이라고 볼 수 있습니다.

따라서 완전한 망각이 가능한지에 대한 직접적인 답변을 드리기는 어렵지만 이 주제와 연결될 수 있는 망각의 원리에 대한 최근 연구 내용을 함께 살펴본다면 논의를 진행하는 데에 도움이 될 것 같습니다. 연구 내용을 소개한 뒤에 그 내용이 완전한 망각의 가능성에 지지하거나 반대하는 근거로 활용될 수 있을지에 대한 저의 해석을 말씀드리겠습니다.

전통적인 망각 연구들은 시간이 지남에 따라 기억을 구성하는 세포 내 물질의 분해나 변형에 의한 점진적인 쇠퇴 과정인 “**Passive forgetting**”에 집중한 것과 달리, 최근의 연구들은 뇌의 효율적인 정보 처리를 위해 적극적으로 기억을 지우거나 감추는 생화학적 메커니즘이 “**Active forgetting**”이 망각 과정에서 더욱 중요한 역할을 할 것이라는 관점을 제시하고 있습니다.

대표적인 연구로 Ronald L. Davis와 Yi Zhong가 2017년 8월 *Neuron*에 게재한 리뷰논문 “**The Biology of Forgetting-A perspective**”를 들 수 있습니다. 이 논문에서 두 연구자는 기억 시스템의 목표는 정보를 보존하는 것이 아니라 뇌에서 효과적인 의사결정이 일어날 수 있도록 돋는 것이기 때문에 뇌에 축적되는 *Engram* 중 활용되지 않는 것들을 지우는 메커니즘이 필요하다고 주장합니다. 그리고 **Active forgetting**에 해당하는 구체적 원리로 “**Intrinsic forgetting**”, “**Motivated forgetting**”, “**Retrieval-induced forgetting**”, “**Interference-based forgetting**”을 실험적 증거와 함께 제시하고 있습니다.

## Dopamine's role in memory building and decay



SOURCE: J.A. BERRY ET AL / NEURON 2012

KNOWABLE MAGAZINE

(사진 출처: <https://knowablemagazine.org/article/mind/2019/why-we-forget> )

이중 **Intrinsic forgetting**은 초파리가 특정 냄새를 피하도록 전기충격 자극을 함께 제시하여 학습시킨 실험으로부터 제안되었습니다. 전기충격으로 시냅스전 신경세포에서 도파민이 분비되면 기억을 저장하는 **Mushroom body neuron**의 수용체 **dDA1**에 달라붙게 되고 이로 인한 화학반응들은 냄새로 인해 생성된  $\text{Ca}^{2+}$  신호의 전달과 함께 작용하여 신경세포의 구조를 변화시킴으로써 기억을 저장합니다. 그런데 냄새와 전기적 자극이 제거된 뒤에도 도파민 분비는 계속되는데 이때는 **Mushroom body neuron**의 수용체 **DAMB**에 결합하여 반대로 신경세포의 구조를 학습 이전으로 되돌립니다. 도파민이 학습과 망각을 모두 일으키는 이중적 역할을 수행하는 것입니다.

**Yi Zhong** 연구팀의 2016년 논문 “**Hippocampal Activation of Rac1 Regulates the Forgetting of Object Recognition Memory**”는 해마 신경세포 내 **Rac1** 단백질도 기억의 망각에 관여한다는 연구 결과를 제시했습니다. 생쥐 해마 신경세포의 **Rac1** 단백질을 억제하였을 때 72시간 미만이었던 기억 유지 기간이 120시간 이상으로 증가하였으며, **Rac1**의 활성을 증가시켰을 때는 24시간 미만으로 줄어들었습니다.

**Ronald L. Davis**와 **Yi Zhong**은 도파민과 **Rac1**에 의한 망각을 보여주는 이 연구들을 바탕으로 **Intrinsic forgetting**이 신경전달물질과 단백질로 구성된 회로에 의해 지속적으로 진행되는 기억 형성의 근본 메커니즘이라는 관점을 제시합니다. 망각 메커니즘이 학습 메커니즘과 신경세포, 시냅스, 신경전달물질 등을 공유하고, 학습에 의해 기억이 만들어지는 순간부터 망각이 시작되어 기억 응고화와 경쟁하여 **memory traces**를 지워간다는 내용입니다.

논문의 저자들은 반복된 자극 등으로 특정 기억이 미래에 사용될 중요한 정보라는 신호가 들어오지 않는다면 **Intrinsic forgetting**에 의해 기억이 계속해서 부식될 것이라고 말했습니다. 이는 완전한 망각의 가능성을 지지하는 근거로 활용될 수 있다고 생각합니다. 왜냐하면 학습으로 만들어진 기억이 사용되지 않는다면 **memory traces**의 지속된 소실로 나중에는 인출이 실질적으로 불가능한 상태에 도달할 것이라고 예상할 수 있기 때문입니다. **Memory traces**가 손상될수록 기억 인출의 빈도가 줄어들 것이고 인출이 되더라도 원래의 정보와 많은 차이를 보일 것입니다. 이러한 경우 다시 학습하는 과정 없이는 온전한 기억을 복원할 수 없으므로 한번 학습한 내용을 완전히 망각하였다고 볼 수 있을 것입니다.

② 망각에 관련된 실험은 동물 실험과 인간 피험자를 대상으로 한 실험으로 나누어 살펴볼 수 있습니다. 먼저 동물 실험의 대상으로는 초파리, 생쥐, 민달팽이 등이 있습니다.

기억 형성에서의 도파민의 이중적 역할을 밝힌 초파리 실험에서는 냄새 자극과 전기 자극을 이용하여 초파리가 특정 냄새를 피하도록 학습시켰습니다. 이후 시간 간격을 두고 망각에 걸리는 시간을 측정하여 시간에 따라 기억이 유지되는 정도를 확인하였습니다. 그리고 기억 형성 시 활성화되는 뉴런을 찾은 뒤에 그 뉴런 속 관련 유전자나 단백질을 억제 또는 강화하여 기억 과제 수행 정도가 어떻게 변화하는지를 실험하였습니다.

Paul Frankland 연구팀은 2013년 연구에서 신경발생 과정인 **neurogenesis**가 기억과 망각에 미치는 영향을 연구하기 위해 생쥐를 대상으로 실험을 진행했습니다. 생쥐의 **hippocampus**에 **neurogenesis**를 촉진하거나 억제하는 약물 주입한 후에 학습 과제를 수행하는 정도를 확인하였습니다.

Robert Calin-Jageman과 Irina Calin-Jageman의 연구팀은 2017년 논문에서 민달팽이를 이용하여 망각 이후에 뇌에 무엇이 남게 되는지에 대한 연구를 발표했습니다. 망각 이후의 빠른 재학습을 가능하게 하는 **savings memory**와 망각 이후에도 유지되는 전사 조절을 확인했다는 것이 그 내용이었습니다. 민달팽이의 몸 한쪽에 전기 자극을 가하여 더 큰 반사 작용을 보이도록 학습시켰고 시간 간격을 두고 자극을 제시하며 한쪽에서만 **savings memory**가 남아 있음을 확인하였습니다. 이후 **microarray**와 **qPCR** 실험을 통해 기억에 관여하는 것으로 알려진 약 1200가지 전사체 중 한쪽 뇌에서 여전히 활성을 보인 11개를 찾아냈습니다.

인간 피험자를 대상으로 하는 망각 실험 중에는 단어 짹이나 단어와 이미지, 이미지 짹 등을 제시한 뒤에 그 둘을 연관 짓는 학습을 진행하는 실험이 있습니다. 하나를 제시하였을 때 그 짹을 기억해내는 실험으로, 기억에 영향을 줄 수 있는 변인을 추가하여 기억 과제의 수행 정도가 어떻게 달라지는지를 확인하는 방식입니다. 이 실험은 망각의 여러 유형 중 기억을 떠올리지 않으려는 동기에 의한 망각인 **motivated forgetting**의 연구자들이 자주 수행합니다. Michael Anderson이나 그가 제시한 'Think No Think Paradigm'을 키워드로 검색해보시면 실험 논문을 찾으실 수 있을 것입니다.

행동 수준의 실험은 위와 같이 진행된다면, 뇌 속에서 어떤 작용에 의해 학습과 망각이 가능한지 확인하기 위한 실험에서는 뇌영상 장비를 활용하여 어느 부위가 활성화되는지 확인하는 방법을 사용합니다. 기억 과제를 수행하는 피실험자의 뇌에서 특정 영역을 찾거나 기억의 활성 정도를 확인하고 기존 연구 가설을 검증하는 방식으로 연구가 진행됩니다.

## 논문

Cervantes-Sandoval, I., Chakraborty, M., MacMullen, C. & Davis, R. L. Scribble scaffolds a signalosome for active forgetting. *Neuron* 90, 1230–1242 (2016).

Davis, R. L. & Zhong, Y. The Biology of Forgetting—A Perspective. *Neuron Perspective* 95, 490–503 (2017).

Liu, Y. et al. Hippocampal activation of rac1 regulates the forgetting of object recognition memory. *Current Biology* 26, 2351–2357 (2016).

## 논문 리뷰 기사

Chawla, D. S. To Remember, the Brain Must Actively Forget. *Quanta Magazine* (2018).

Siegfried, T. Why forgetting may make your mind more efficient. *Knowable Magazine* (2019). doi:10.1146/knowable-011019-1

## 【박은서】

질문: 뇌파의 주파수에 따라 알파파, 델타파 등등 종류가 나뉘고 각각 이름도 있는데요. 각 뇌파의 이름은 어떻게 지어진 건지 궁금해졌어요. 그리고 각 파장의 정의 (예를 들어 **4~8Hz**는 세타파)가 어떻게 정해진 건지도 궁금해요.

: 말씀하신 것처럼 뇌파는 주파수에 따라 다음과 같이 나뉩니다.

[뇌파 신호의 주파수별 분류]

뇌파신호 분류	주파수(Hz)	신호의 형태
델타(Delta)파	~3.5	
세타(Theta)파	3.5~7	
알파(Alpha)파	8~12	
베타(Beta)파	13~30	
감마(Gamma)파	31~50	

참고 문헌에 따르면, 각 뇌파의 이름은 발견 순서에 따른 것으로 볼 수 있습니다.

‘한스 베르거(Hans Berger)가 약 10Hz 영역에서의 우세한 진동파를 사람의 뇌에서 처음으로 발견하고, 알파 리듬(alpha rhythm)이라고 명명했고(Berger, 1929), 또한 그는 약 13~30Hz 영역의 베타(beta)파라고 불리는 두 번째 종류의 진동파도 보고했다. 재스퍼와 앤드류스는 약 35~45Hz 영역의 높은 주파수 대역을 감마파(gamma wave)라고 명명하였다(Jasper & Andrews, 1938). 물론, 지금은 약 30Hz 이상의 고주파를 통상적으로 감마파 영역으로 간주한다. 덧붙여, 4Hz 미만의 느린 진동을 델타(delta)파라고 하고, 약 4~8Hz 대역의 뇌파를 세타(theta)파라고 한다.’

델타파의 경우 1930년대에 W. Grey Walter에 의해 처음으로 기술되었고, 세타파의 경우 마찬가지로 W. Grey Walter가 1943년에, Thalamus(시상)에서 기원이 되는 뇌파라고 해 ‘Theta wave’로 명명하였다 합니다.

추가적으로, 뇌파는 일반적으로 위와 같이 크게 5가지 종류로 나뉘나, 더욱 세분화하여 나타내기도 합니다. 그중 하나가 **SMR** 파입니다. SMR 파는 1965년 미국의 UCLA의 스터먼 박사가 고양이를 이용하여 발견한 뇌파로 알파파와 베타파 사이에 새로운 형태의 뇌파로 알려졌습니다. **SMR(Sensory Motor Rhythm)** 파는 대뇌 피질의 영역 중에서 감각 운동 피질에서 나타나는 12~15Hz의 주파수 리듬에 해당하며 고도의 집중력을 유지할 때 나타나고 베타파보다 아주 적은 에너지로 일을 쉽게 처리할 수 있는 능력을 발휘하도록 돋습니다. SMR 파는 감각운동피질에서만 나타나는 특정 뇌파이며, 그 발생 기저는 피질이 아닌 시상 핵입니다. 따라서 대뇌 피질 영역에서 생기는 12~15Hz에 해당하는 각성파와는

구별됩니다. 현재는 SMR 파의 증강을 통해 ADHD, 뇌전증, 틱 장애, 뇌졸중, 우울증, 불안 장애, 외상 후 두뇌 후유증, 공포 장애 등의 치료에 이용하는 연구가 활발히 진행 중이며 대부분의 질병에서 이미 치료 효과가 입증되어 임상에서도 활용되고 있다고 합니다. 이처럼 최근까지도 새롭게 발견되어 추가되는 뇌파가 있습니다. 비교적 최근에 발견된 뇌파들은 그 발견 순서에 따라 이름이 지어진 것이 아니라 해당 뇌파의 특성을 반영하여 명명된 것으로 보입니다.

초기에 발견된 뇌파의 경우, 각 파장의 정의는 발견된 파장의 주파수 영역을 발견 순서에 따라 이름 붙여 지은 것으로 보입니다. 다만 뇌파의 정의와 주파수 범위는 절대적인 수치로 정확하게 구분하기는 것이 아니라 임상적인 의의에 따라 유연하게 구분하여 분석하는 것으로 생각됩니다. 보다 세부적인 내용은 아래 참고 문헌 중 '정신건강의학과 의사를 위한 뇌파의 기초'를 읽어보시길 추천해 드립니다.

## Bibliography

Min, Byoung-Kyong. Spectral analysis of brain oscillatory activity. Korean Journal of Cognitive Science Vol. 20, No. 2, 155~181.(2009)

Hurst JW. Naming of the waves in the ECG with a brief account of their genesis. Circulation. 1998;98:1937–1942

<https://m.blog.naver.com/joungjs/140200247845>

Hun Jeong Eun, MD, PhD, DBA. Basics of Electroencephalography for Neuropsychiatrist. Department of Neuro psychiatry, Presbyterian Medical Center-Jesus Hospital, Jeonju, Korea

## 【서민경】

질문: 제 친구가 뇌척수액 유출로 입원을 했어서 뇌척수액에 대해서 찾아보고 있었습니다! 여기서 갑자기 궁금해진건데, 뇌척수액에는 왜 적혈구가 없을까요? 뇳는 산소를 많이 필요로 하는 기관인데 직접적으로 바로 뇳까지 산소를 가지고 가면 더 효율적이지 않을까요?

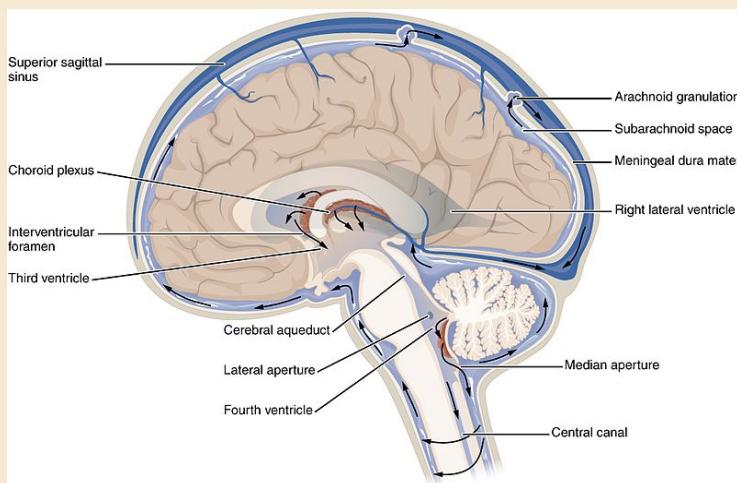
### 1. 뇌척수액 (Cerebrospinal Fluid, CSF) 이란 무엇인가?

뇌척수액이란 대부분 뇳의 맥락총(맥락얼기, choroid plexus)에서 생성되어 뇳실(ventricle)과 지주막하공간(subarachnoid space)을 따라 뇳와 척수를 순환하는 무색투명의 액체이다. 일부는 뇳실을 쌌고 있는 뇳실막 세포 (ependymal cell)와 혈관 주위 공간을 통해 분비가 되기도 한다. 하루에 약 500ml (분당 약 0.5ml) 정도가 생성되며, 동일한 양이 거미막밀공간의 거미막과립에서 분해, 흡수된다. 따라서 성인 기준으로 항상 125-150ml 정도의 일정한 양이 유지된다.

### 2. 뇌척수액의 기능

- (1) CNS를 외상으로부터 보호 (완충작용, 지지 등)
- (2) 뇳에 부력을 가해 1500g 정도의 무게를 50g정도로 느끼게 해줌
- (3) 혈액으로부터 뇳 속으로 확산된 대사산물이나 화학물질을 제거함
- (4) brain과 peripheral endocrine function의 통합
- (5) CSF 내의 Ca, K, Mg 등의 이온 농도 조절 → 혈압, 심박, 감정상태, 혈관운동반사 등을 조절하는 역할
- (6) 두개골 내 압력을 일정하게 유지 (혈액이나 뇳조직의 부피가 커지면 뇌척수액이 줄어드는 등)

### 3. 뇌척수액의 순환



뇌척수액은 lateral ventricle로부터 제 3뇌실을 거쳐 대뇌수도 (cerebral aqueduct) 를 통과하여 제 4뇌실에 이른다. 이후 spinal canal로 내려가고, 제 4뇌실의 뇌척수액은 소뇌와 뇌교 사이의 median aperture와 lateral aperture를 통해 지주막하 공간 (subarachnoid space) 으로 순환한다. 이후 뇌척수액은 지주막과립 (arachnoidal granulation) 이라는 특별한 구조를 통해 정맥으로 흡수된다. 뇌척수액이 정맥에 흡수되는 것은 혈액과의 농도차이로 인해 발생한다.

#### 4. 뇌척수액과 혈액의 성분 차이

뇌척수액은 혈액과 비슷하게 약알칼리성을 띠는 액체로, 성분은 림프액과 거의 유사한 것으로 알려져 있다. 포도당이 40-70mg%, 단백질이 15-45mg%, 염화소듐이 70mg%, 림프구는 0-3개/mm<sup>3</sup>으로 구성되어 있다. Clear colorless fluid로, plasma와 성분을 비교했을 때 단백질, 당(glucose), K와 Ca 이온의 양은 적고, Na, Cl, Mg 이온의 양은 많다. 혈액과 비교하면 적혈구가 없고, 혈액에 비해 단백질과 지방의 양도 적다.

#### 5. 결론

뇌내에도 혈관이 존재하며, 뇌척수액은 뇌의 양쪽에 있는 신경세포들까지는 달지 않는, 곁에서 순환하는 구조이다. 따라서 뇌척수액 대신 적혈구가 존재하는 혈액으로 대체하기에는 원활한 산소공급 측면에도 무리가 있을 것 같다. 또한, 혈액과는 다르게 기타 물질이 거의 없는 기질(substrate)로서의 역할을 수행하기 때문에, 혈구 등의 단백질이 들어온다면 그 역할을 제대로 수행하지 못할 것 같다. 이 질문을 내가 했을 때에는 ‘뇌척수액의 유출을 혈액으로 응고시킬 수 있다면, 애초에 응고할 수 있는 단백질이 포함되어 있다면 유출이 일어날 일도 없지 않을까?’였다. 단백질이 많은 것은 오히려 뇌척수액의 고유한 역할을 수행하지 못하게 하며, 뇌척수액 유출은 대부분 수술 후 부작용으로 발생하므로 뇌척수액과 혈액의 역할이 다르며, 그 차이를 알게 되었다.

## References

사진 출처: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1317\\_CFS\\_Circulation.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1317_CFS_Circulation.jpg)

Bear MF et al., 2014. Neuroscience: Exploring the brain (4th ed.), Wolters Kluwer.

서울대학교병원 신체기관정보, 뇌척수액

분자, 세포 생물학백과, 뇌척수액

서울대학교병원 의료정보, 검사/시술/수술정보, 뇌척수액 검사

CSF Analysis. <https://medlineplus.gov/lab-tests/cerebrospinal-fluid-csf-analysis>

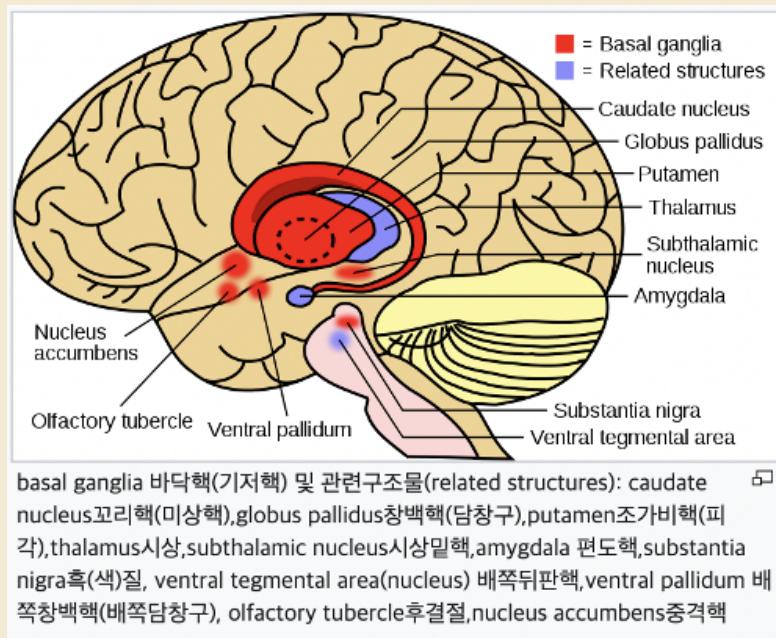
## 【이기훈】

질문: 습관은 선천적인 뇌구조 혹은 기능과 관련이 있을까요? 어린이들을 보면 자기도 모르게 손톱을 뜯거나 다리를 떨거나 하는데 이런 행동 습관들은 어떤 원리로 작용하는지 (행동이니만큼 **motor neuron**이 작용하는 걸테고, 그럼 이는 우리가 다리를 떨자!라고 생각하지 않는데 어떻게 종주에서 오더를 내리는건지) 행동습관을 할 때 뇌에서의 반응이 궁금합니당!

에이드리언 헤이스 미국 존스홉킨스대 교수는 행동을 두 가지로 분류하였는데, 각각 목적지향 행동, 습관 행동입니다. 예를 들어 어떤 통학하는 학생이 집을 가는 길에 빵집에 들려서 빵을 사려고 했는데 그냥 집에 갔다고 하면, 이는 목적 지향 행동을 하지 못하고 습관 행동이 발생한 것이라고 할 수 있습니다.

목적 지향 행동이 반복되면 습관행동으로 바뀐다고 합니다. 목적 지향 행동은 뚜렷한 의식을 지니고 행하려고 하는 것이지만 그것이 반복되다 보면 의식의 판단 없이도 행할 수 있게 되어 습관행동으로 변하는 것입니다. 이에 맞추어 생각한다면, 다리를 떨기는 다리를 떠는 통에서 어떠한 목적을 달성하게 되고, 그것이 꾸준히 반복되어 습관 행동으로 변했음을 추측할 수 있습니다. 손톱을 뜯는 것 역시 마찬가지입니다. 각각의 행동이 어떠한 목적을 지향하며 만들어졌는지, 그리고 왜 꾸준히 반복되었는지에 대해서는 의견이 분분할 것이지만 말입니다.

다음으로 이런 습관 행동의 작용 및 저장에 대해 알아보도록 하겠습니다. 기저핵(basal ganglia)-선조체-조가비핵(putamen) 부근에서 습관 행동을 형성하는 데에 관여하는 것으로 보이며 목적 지향 행동의 형성은 기저핵-선조체-미상핵(caudate nucleus)에서 관여한다고 합니다.



<습관행동기억을 저장하는 영장류의 뇌 영역 및 신경 회로 동정>에 따르면 습관 행동 중 하나인 시각 습관 행동은 미상핵(caudate nucleus)의 꼬리 부분에서 저장된다고 합니다. <Striatal fast-spiking interneurons selectively modulate circuit output and are required for habitual behavior>에 따르면 선조체에는 FSI라는 중간 뉴런이 존재하는데, 쥐에게 레버를 누르는 습관을 형성시킨 후, FSI의 활성을 막으면 쥐가 습관 형성 전의 상태로 돌아가는 것을 볼 수 있었습니다. 이를 통해 습관의 기억 및 행동 습관의 발현이 FSI라는 뉴런과 연관이 있음을 알 수 있습니다. 이것을 인간의 뇌에 확장해서 생각해도 될지는 모르겠지만, 뇌에 특정한 행동 습관의 발현을 조절하는 회로가 있음을 추측할 수는 있습니다.

## References

1. 최 지원. 습관 좌우하는 중간뉴런 첫 확인. 동아사이언스 (2017).  
<http://dongascience.donga.com/news.php?idx=19887>
2. O'Hare, J. K. et al. Striatal fast-spiking interneurons selectively modulate circuit output and are required for habitual behavior. eLife 6, (2017). <https://elifesciences.org/articles/26231#abstract>
3. 김 태. [김태의 뇌과학] 습관의 뇌과학. 서울신문 (2018).  
<https://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20180911029006>
4. 서울대학교. 습관행동기억을 저장하는 영장류의 뇌 영역 및 신경 회로 동정. (2019).  
<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORsRchReport.do?cn=TRKO201900021897>

## 【차진경】

질문: 제 친구가 뇌척수액 유출로 입원을 했어서 뇌척수액에 대해서 찾아보고 있었습니다! 여기서 갑자기 궁금해진건데, 뇌척수액에는 왜 적혈구가 없을까요? 뇌는 산소를 많이 필요로 하는 기관인데 직접적으로 바로 뇌까지 산소를 가지고 가면 더 효율적이지 않을까요?

### 1. 뇌척수액(CSF)이란?

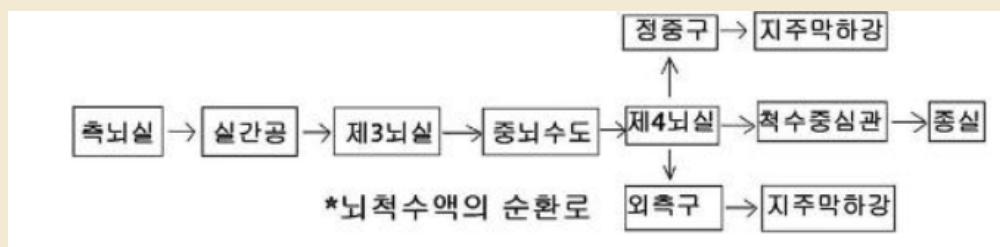
뇌척수액은 투명한 액체로 뇌와 척수를 둘러싼 연질막과 지주막 사이에 있는 공간과 뇌실을 채우고 있는 액체입니다. 뇌척수액은 뇌 또는 척수에 가해지는 충격 및 부상을 방지하는 쿠션 역할을 해 CNS를 보호합니다. 또한 뇌척수액은 뇌에서 생성되는 노폐물을 제거하며 그와 동시에 CNS(중추신경계)가 제대로 기능하게끔 도와줍니다. 또한, 뇌척수액(CSF)은 **clear colorless fluid**로, 단백질, 당, 칼륨 이온 및 칼슘 이온의 양은 적고 나트륨 이온과 염화 이온, 마그네슘 이온의 양은 많습니다. 혈액과 비슷한 약알칼리성이나 적혈구는 없고 혈액에 비해 단백질과 지방도 적습니다.

### 2. 뇌척수액의 순환

뇌척수액이 어떻게 만들어지는가는 아직 정확히 밝혀지지 않았지만, 뇌실에서 만들어진 뒤 신경계를 싸고 있는 뇌실막을 통해서 나오는 것으로 여겨집니다. 뇌척수액은 계속해서 생성되기에, 하루에 3~4번 정도 완전히 새 것으로 바뀌어집니다. 결국 정맥으로 흡수되는데 뇌신경이나 척수 신경의 뿌리 근처 등 여러 곳에서 뇌나 척수 밖으로 빠져나가며, 일부는 뇌 표면에 있는 정맥에 직접 흡수되기도 합니다. 뇌척수액을 순환시키는 기관은 따로 없으며 지속적인 분비와 흡수, 인접한 조직의 혈관박동, 호흡, 정맥암, 머리와 몸의 움직임 등에 의해 순환하게 됩니다.

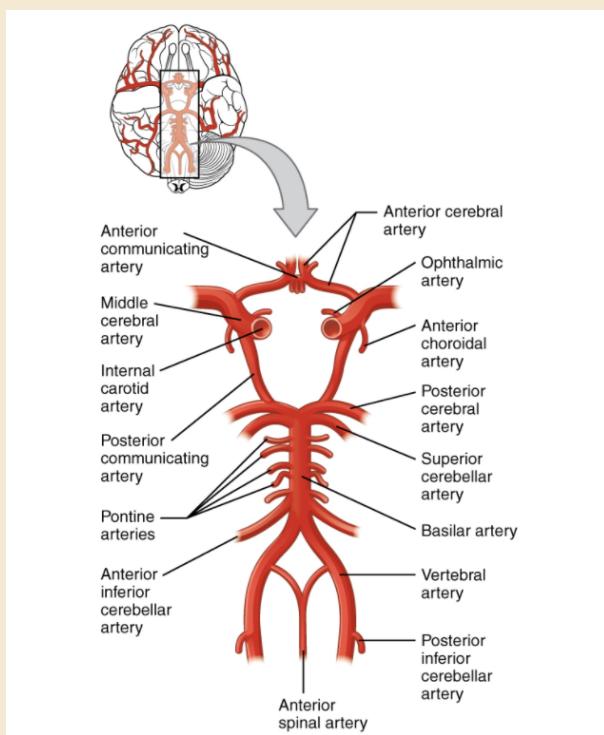
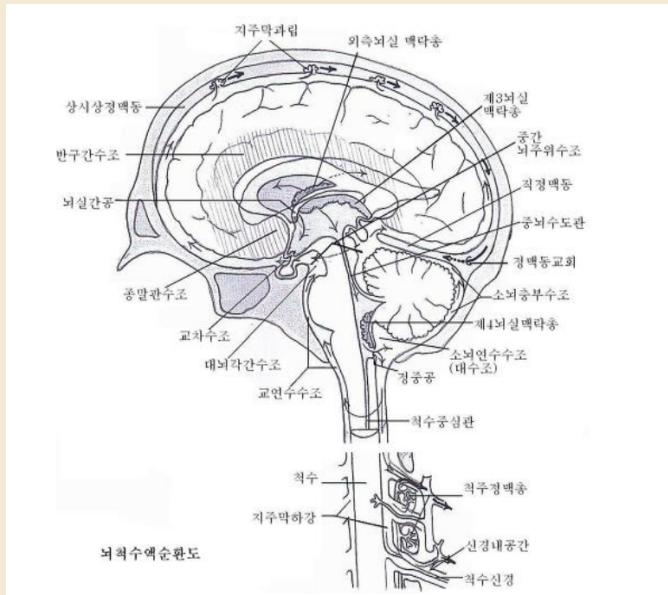
뇌척수액의 순환경로는 측뇌실, 제 3 뇌실, 중뇌수도, 제 4 뇌실을 거쳐 척수 중심관으로 내려가 척수 끝인 종실에 이릅니다. 제 4 뇌실에서는 외측구와 정중구를 통해 지주막하강으로 나오며, 이어서 상시상정맥동 속의 지주막과립을 통해 정맥으로 흡수됩니다.

### 3. 혈액의 순환



혈액은 CNS에 산소를 공급하는 역할을 하며 뇌실을 채우고 있는 뇌척수액과는 다르게 매우 다양한 경로로 뇌에 도달할 수 있습니다. 뇌의 혈액 순환은 크게 뇌의 전면을 담당하는 내경동맥 2줄기와 뇌의 후면을 담당하는 주골동맥 2줄기로 나눌 수 있습니다. 내경동맥은 중대뇌동맥과 전대뇌동맥으로 갈라집니다. 양쪽의 전대뇌동맥은 각각 전교통동맥과 연결되고 후대뇌동맥은 후교통동맥과 연결됩니다. 따라서 후대뇌동맥, 후교통동맥, 내경동맥, 전대뇌동맥, 전교통동맥은 뇌의 바닥에서 동맥 고리를

형성하는데 이 고리를 willis 1이라고 부릅니다. 추골동맥은 후두골을 지나 두개골로 들어가는 구조로 되어 있습니다.



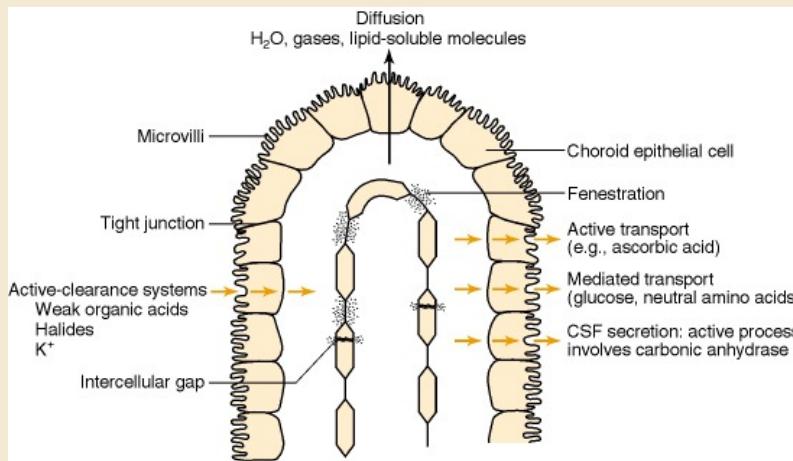
#### 4. 결론

뇌척수액이 직접적인 산소 전달을 하지 않는 이유는 혈액과 뇌척수액의 역할 차이에 집중해야 합니다. 뇌척수액은 뇌실계통(Ventricular system) 안을 흐르고 혈액 뇌장벽을 지나 혈류로 다시 흡수되면서 중추신경계에 생기는 대사 부산물을 제거합니다. 그에 반해 혈액은 CNS에 산소를 공급하는 역할을 하며 뇌실을 채우고 있는 뇌척수액과는 다르게 매우 다양한 경로로 뇌에 도달할 수 있습니다. 그 이유는 혈액 공급 경로를 보호하며 동시에 뇌의 기능을 최대화할 수 있기 때문입니다. 뇌척수액 같은 경우 뇌 내부 구조 중 '뇌실'에서 생성되기 때문에 '적혈구'라는 특정 세포를 포함할 수 없습니다. 또한, 뇌의 혈류

순환은 다양한 혈관 경로를 통해 이루어지기에 뇌척수액과 혈액은 서로 다른 기능을 수행하며 분리되어 존재합니다.

#### \*혈액뇌장벽(BBB)\*

뇌와 혈액을 보다 격리시키는 혈관 장벽으로 높은 선택적 투과성을 갖고 있다. 이를 통해 CNS의 복합적 신경 활동이 작동할 수 있는 최적의 상태를 위해 항상성을 보존하는 역할을 한다.



## References

Anne M. Gilroy, et al. 핵심인체해부학. 서울메드-메디아(2009) p.604\

Allan H. Ropper, Robert H. Brown 『Adams and Victor's Principles of Neurology』 8판.(2005) McGraw-Hill Professional. p.530

CSF Analysis. <https://medlineplus.gov/lab-tests/cerebrospinal-fluid-csf-analysis/>

14.2 Blood Flow the meninges and cerebrospinal fluid production and circulation /  
<https://open.oregonstate.education/aandp/chapter/14-2-blood-flow-the-meninges-and-cerebrospinal-fluid-production-and-circulation/>



~ 프로젝트 ~

# 뉴대답



강지우 김도균 김서영 김혜원 박관웅

박은서 서민경 이기훈 차진경