

① 뇌와 마음

시냅스 메커니즘 규명해 마음의 본질 밝힌다

글 | 김경진 _ 서울대학교 생명과학부 교수 kyungjin@snu.ac.kr

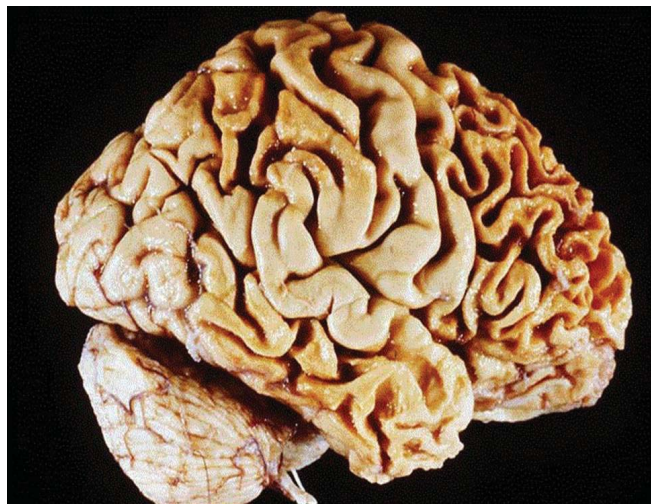
뇌를 연구하는 학문분야는 뇌과학이다. 마음을 탐구하는 학문 영역은 인지심리학이다. 뇌는 생명현상을 통제하는 사령탑으로 물리적인 실체이나 마음은 형이상학적이거나 비물질적이다. 생물학적 실체인 뇌 없이 마음의 본질을 이해할 수 있는가?

17세기 데카르트 이래 육체와 마음을 구분하는 심신이원론적 사고가 지배해 왔으나, 현대에 이르러 대체적으로 심신일원론의 입장을 취하고 있다. 그렇다면 마음은 뇌로부터 생겨났는가? 뇌손상 환자에게 고등 인지기능의 손상 또는 행동이상이 나타난다는 수많은 임상사례들, 마음의 병인 정신병을 푸닥거리가 아닌 신경약물로 치료하는 현대 의학적 발달을 보면 뇌가 마음의 바탕임은 의심할 여지가 없으나, 뇌와 마음의 연결 관계는 아직도 미해결의 문제이다.

뇌의 생물학적 특성을 세포분자 수준에서 이해하고 시냅스의 메커니즘을 밝힌다면 마음의 본질을 밝힐 수 있을 것인가? 또한 인간의 마음을 뇌 분자활동으로 설명할 수 있을까?

뇌과학, 분자에서 뇌의 신비를...

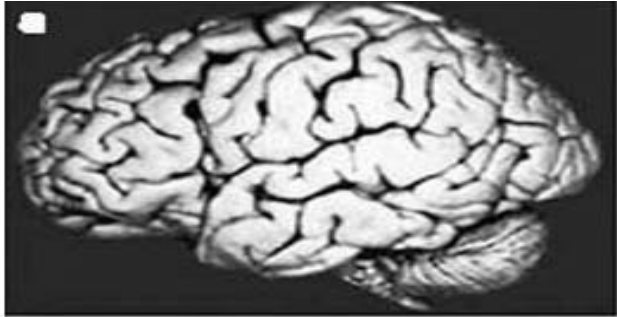
인간의 뇌는 잘 익은 멜론 크기 정도이다. 말랑말랑한 순두부와 같은 뇌는 단단한 두개골 속에 자리 잡고 있다. 신경계의 구조와 기능의 단위는 신경세포(뉴론)이다. 뇌에는 약 1천억 개의 신경세포가 있으며 한 개의 신경세포는 평균 1만 개의 시냅스를 통해 다른 신경세포와 연결을 이루고 있다. 신경세포는 시냅스의 좁은 틈으로 도파민과 같은 신경전달물질을 분비하고, 전기화학적 신호에 의해서 다른 신경세포들과 서로 대화한다. 따라서 시냅스는 신경세포



뇌의 모습

간의 핵심적인 정보전달 소자인 셈이다.

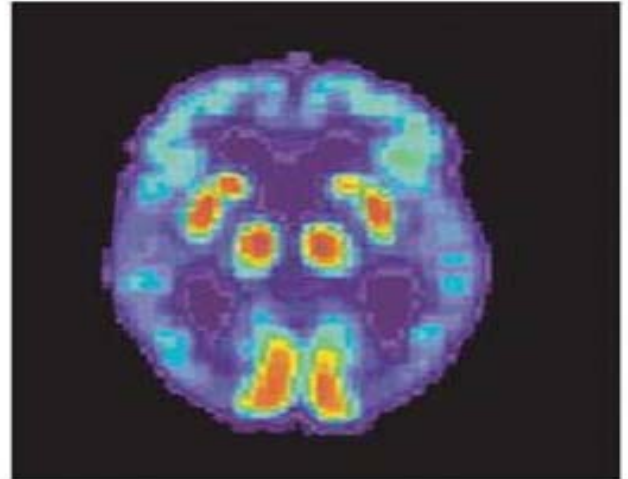
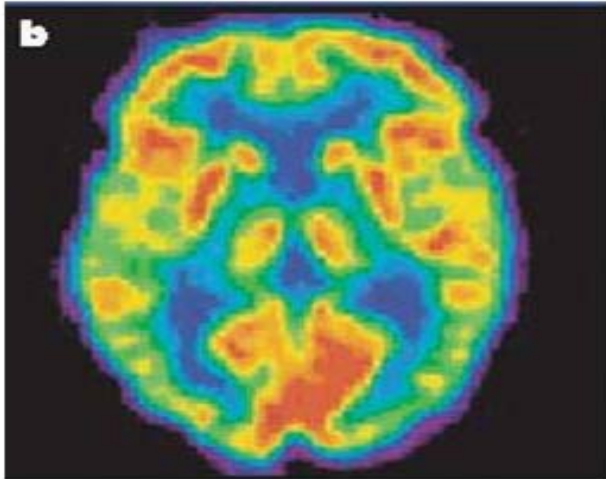
아무리 고성능인 컴퓨터라 할지라도 뇌 신경회로망의 구조적 복잡성과 기능적 정교함에 비교가 되지 않기에 혹자는 뇌를 지능적 설계라고 한다. 하지만 뇌는 어느 한 순간에 만들어진 것이 아니라 수천만 년을 통한 진화의 산물이다. 진화의 역사에서 파충류의 뇌는 뇌간이 확장되고 발달하여 원초적인 '생존의 뇌'를 구성했다. 이후 초기 포유류로 진화하면서 생존의 뇌를 이룬 층을 둘러싸고 대뇌변연계가 발달하여 '감정의 뇌'를 이루는 층이 더해졌다. 진화의 마지막 단계에서 형성된 대뇌피질은 뇌의 가장 바깥쪽에 위치하며 인간의 속성을 나타내는 '사고의 뇌'로 기능한다. 인간에게서



정상뇌



알츠하이머뇌



PET 이미지(글루코스 활용)

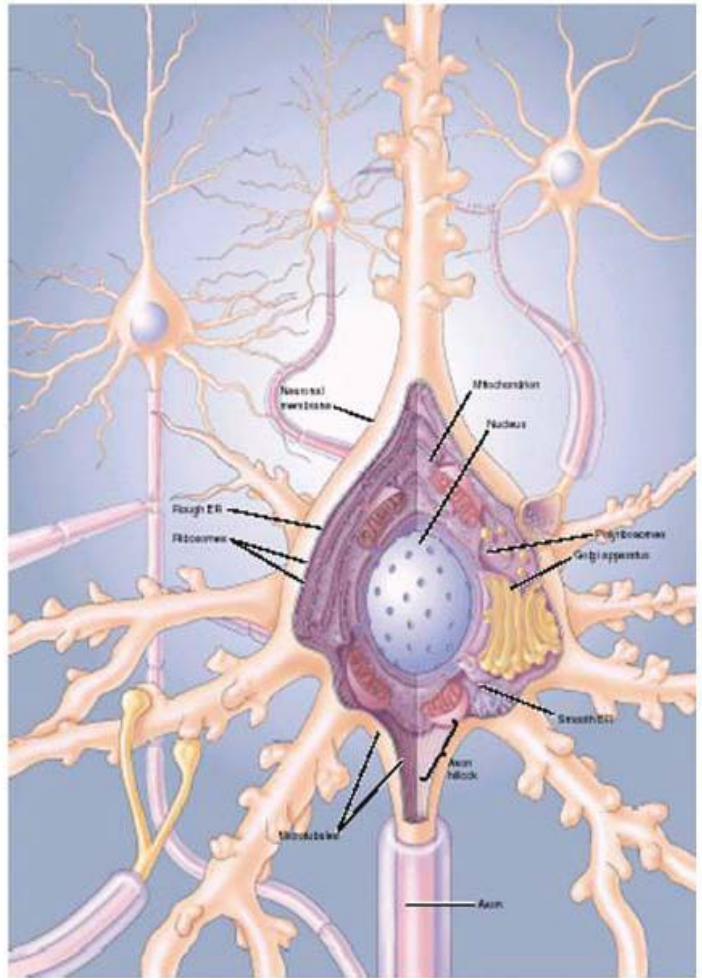
유달리 발달된 대뇌피질은 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽 등으로 구분되며, 부위에 따라 논리 및 이성적 사고, 언어, 운동, 감각, 청각, 시각 등 특정 고등기능을 담당한다.

최근 감정(정서)이 사고력, 판단, 이성적 의사결정과정의 밑바탕을 이루고 있다는 일련의 실험결과와 이론은 매우 흥미롭고 시사적이지만 진화적 관점에서 보면 당연한 결과인지도 모른다. 다층 구조로 이루어진 뇌의 하드웨어적 구조적 특성이 소프트웨어적 뇌 기능의 밑바탕을 이루고 이들을 조절하는 정교한 메커니즘이 진화했기 때문이다.

뇌는 발생유전학적 프로그램에 따라 발생된다. 세포의 증식, 신경세포로의 분화, 사멸, 표적세포로의 이동 등 역동적인 과정을 거치면서 신경회로망이 형성된다. 복잡하고 정교한 신경회로망은 경

험적 혹은 환경요인에 의해서 유아기는 물론 성인이 되어서도 역동적인 재구성이 이루어진다. 즉, 끊임없는 가지치기를 통해 신경세포들 간의 시냅스는 새롭게 형성되거나 제거되고 때론 강화된다. 이와 같이 시냅스의 구조적, 기능적 유연성을 시냅스의 가소성이라고 한다. 이는 신경과학의 가장 중요한 개념이자 신경기능을 포괄적으로 설명하는 기본 틀이다. 시냅스의 가소성은 환경, 경험에 의해서 역동적으로 재구성될 수 있다.

뇌는 여전히 많은 부분이 신비의 베일에 싸여 있으나, 최근 이루어진 이 분야의 연구성과는 괄목할 만하다. 뇌 블랙박스의 한 모퉁이가 무너지기 시작했다. 유전자 재조합 기법에 의한 뇌 특이적 유전자의 탐색, 단일 이온채널의 활성을 측정하는 전기생리학적 방법 등을 통해서 유전자 발현, 신호전달기작, 그리고 신경회로망의 시



신경세포(뉴런)

냅스 분자 메커니즘을 규명함으로써 뇌의 신비를 풀어 헤치고 있다. 즉, 현대 뇌과학은 신경전달물질과 이들의 수용체, 뇌기능을 조절하는 유전자, 단백질들의 놀랍도록 정교한 분자협주곡에서 인간의 마음과 고등 정신활동의 단서를 찾으려 한다. 이것이 바로 하드웨어적 뇌과학이다.

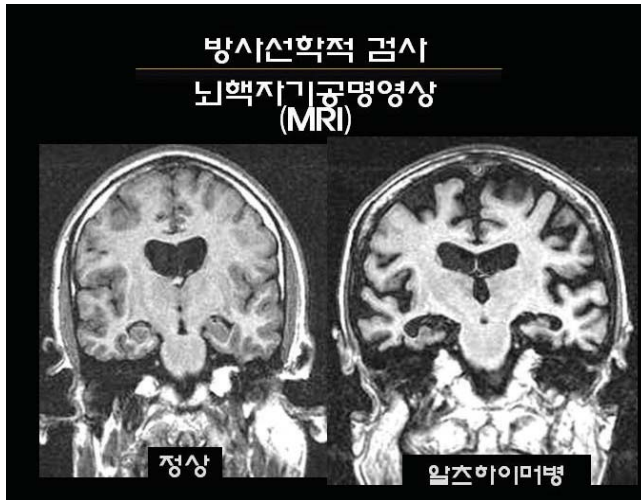
인지신경과학 · 마음을 읽는 뇌영상 기법의 출현

인지심리학은 뇌과학과 인지과학의 경계학문분야이다. 뇌를 컴퓨터와 같은 하드웨어로 간주하고 정보처리의 틀에서 마음의 작용을 이해하려는 인지심리학은 다학제적 분야로 여러 분야에 새로운 패러다임의 변화를 야기하고 큰 영향을 미쳤다. 인지심리학은 정보처리 체계의 기본단위로 신경세포를 모방하고 신경세포 간의 연결을 모방한 신경망적 접근을 중시한다. 이를 연결주의라고 하고 마

음을 병렬분산 정보처리 체계로 간주하며 의식, 인지, 정서, 지식 표현과 추론, 의사결정과정, 언어 습득 및 처리과정, 학습과 기억, 인지 모델링 등을 연구대상으로 한다.

기존의 인지심리학은 입력과 출력, 반응의 관점에서 마음을 이해하고 추론하고자 심리검사, 정신물리학적 실험기법을 전통적으로 사용해 왔으나 최근 인지신경과학은 첨단 뇌영상 기법들을 이용하여 기존의 이론과 연구결과를 재해석하고 새로운 개념을 제시하는 연구 성과를 쏟아내고 있다.

뇌영상 기법은 뇌를 적출하여 분석하는 생화학적 연구방법이나 전기생리학적 기법과는 달리, 살아있는 사람의 뇌에 손상을 입하지 않는 비침습적 방법으로 인간의 다양한 고등 뇌기능을 분석하는 것이 가능하다. 마음을 읽는 뇌영상 기법은 실로 다양하다. 컴퓨터단층촬영법(CT), 양전자방출단층촬영기법(PET), 자기공명영상기법



(MRI), 기능성 자기공명영상기법(fMRI), 뇌자도(MEG) 등은 뇌의 해부학적 구조는 물론 신경세포의 전기적 활동 및 뇌 혈류량 변화 등을 실시간으로 측정할 수 있게 해주었으며, 이를 활용해 과학자들은 신경활동과 인지현상의 인과관계를 규명하여 궁극적으로 마음을 이해하고자 한다.

이와 같은 뇌영상 기법의 발달에 힘입어 뇌 구조적 변화와 신경 활동을 미세 수준에서 살펴볼 수 있게 되었고, 나아가 고등인지능에 대한 뇌지도를 작성하여 뇌기능에 대한 개인적 차이를 영상화할 수 있다는 점에서 인지신경과학 연구에 핵심기술로 자리 잡은 지 오래이다. 하지만 이들 뇌영상 기법은 기술적 한계를 가지고 있다. 현재의 시공간적 분해능으로는 인간의 마음을 완벽히 해독하기에는 어려움이 있기 때문이다. 그러나 이러한 한계를 극복하고 보다 빠른 뇌 활동 변화를 측정하기 위해서 새로운 기술적 접근이 모색되고 있으며 그 일환으로 국내에서는 고해상도를 지닌 PET-MRI를 융합한 새로운 뇌영상기술 개발이 최근 시도되고 있다.

뇌와 마음의 연구는 융합과학

1990년 미국의 선도로 시작된 ‘뇌연구 십년’은 뇌과학 발전에 결정적인 계기였으며 지난 수십 년 동안 뇌연구는 괄목할 만한 발전을 거듭했다. 많은 독창적인 연구기법의 출현으로 새로운 발견과 새로운 이론이 탄생하고 이들은 재해석되고 있다.

하버드 의대의 엘코프 교수는 현대 뇌과학의 추세를 “프로이트 시대는 지나고 다윈시대가 열렸다”라고 말했다. 이는 인간의 고등 정신기능을 형이상학적 언어로 설명하던 시대는 끝나가고 신경생

물학적 언어로 이해하는 시대가 시작됨을 의미한다. 현대 뇌과학은 ‘분자에서 마음’이라는 모토로 세포분자 수준에서 분석적, 환원적 접근으로 시냅스의 작용 메커니즘을 밝히려 한다. 또 다른 한축인 인지심리학, 인지신경과학은 마음을 비롯한 고등 인지기능을 정보처리 체계의 관점에서 이해하려 한다. 현대 뇌연구는 다학제적이다. 전통적인 학문의 구획을 헐어내고 융합적 접근이 필요하다. 신경과학적 접근과 인지심리학적 접근은 배타적이 아닌 통합된 형태로 추진되어야 할 것이다.

인간과 유사한 뇌구조를 가지고 있는 고등동물(특히 유인원)도 인간처럼 어느 정도 의식을 가지고 있을 것으로 생각하는 것은 어찌 보면 당연하고 합리적인 추론이다. 아무리 고차원적 인지기능이라 할지라도 뇌 구조적 시냅스의 정보처리 메커니즘에 기초한 것이며, 이는 결국 진화의 결과이기 때문이다. 하지만 논리적으로 엄격히 말하면, 인간 이외의 생명체에 마음, 의식이 있는지를 실험적으로 증명하기는 불가능한 실정이다.

그래서 인과관계에 초점을 맞추어 의식을 만들어내는 인지과정을 이해하면 마음의 세계를 해결할 수 있다고 믿는 인지심리학적 접근에는 한계가 있다. 동시에 시냅스의 메커니즘을 해독한다면 형이상학적 마음을 설명할 수 있다는 신경생물학적 접근에도 한계가 있다. 저명한 신경과학자 특히 노벨상수상자들은 뇌의 생물학적 특성을 세포분자 수준에서 이해하고 시냅스의 메커니즘을 밝힌다면 마음의 본질을 밝힐 수 있다고 다소 거드름을 피우면서 거침없이 말하지만, 필자는 인간의 마음을 뇌 분자 활동으로 설명하려는 것은 매혹적인 질문이지만 쉽사리 풀릴 것 같지 않은 곤혹스러운 의문이라고 생각한다.

결론적으로, 뇌연구는 인간의 삶의 질을 높일 것이다. 뇌질환의 예방과 진단 및 치료기술을 개발하고, 인간의 인지과정과 유사한 지능적 정보처리기술을 개발하게 된다면 미래 신산업의 가능성을 열 것으로 예상할 수 있기 때문이다. 소우주와 같은 뇌, 스마트한 뇌의 시냅스 메커니즘을 이해하고, 인간의 인지과정을 이해하려는 접근은 그 자체로서도 매우 중요하다. 이런 관점에서 ‘뇌와 마음’은 역사상 오랫동안 논의되어온 오래된 주제이나 21세기 뇌연구에 있어서 여전히 중요한 화두임에는 틀림없다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 동물학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 미국 일리노이대학교 생리학 및 생물물리학과에서 석사·박사학위를 받았다. 현재 교과부 21세기 뇌프론티어 사업단 단장을 겸임하고 있다.