

⑤ 뇌과학의 목표와 미래

뇌에 마음의 지도 그린다

글 | 이상훈 _ 서울대학교 심리학과 교수 visionsl@snu.ac.kr

약 70년 전 캐나다 몬트리올에 있는 한 병원의 수술실에서 당대의 노련한 뇌수술 전문의 외일더 펜필드는 두개골이 열려 뇌를 활짝 드러낸 채 자신을 바라보고 있는 간질환자와 대화를 나누면서 간질의 진원지를 찾아 뇌 표면의 이곳저곳을 전극으로 조심스레 찌르고 있었다. 그러다 그가 관자놀이쯤에 위치한 말소리, 청각, 기억 등을 담당하는 것으로 알려진 측두엽의 한 부위에 전류를 흘렸을 때 갑자기 간질환자가 중얼거리기 시작했다. “난 지금 부엌에 앉아 있는데 내 아들의 목소리가 들려요. 그 아이는 길가의 마당에서 놀고 있는데 자동차들이 많이 지나다녀 위험한 것 같아 걱정돼요.” 자신의 귀를 의심한 펜필드는 다시 한 번 똑같은 뇌 영역에 전류를 흘렸다. 놀랍게도 환자는 똑같은 경험을 보고했다. 마치 자동응답기의 단추를 누르듯 펜필드는 특정한 기억흔적을 지닌 뉴런들을 자극하여 생생한 기억을 불러낸 것이다.

뇌과학의 목표는 마음·행동의 생물학적 기초 규명

마음의 사건을 물리적으로 촉발한 펜필드의 시범은 너무나도 분명하게 ‘마음은 뇌의 활동’임을 강력하게 웅변한다. 당연하게 들리는 이 명제는 최근에는 ‘사실’로 받아들여진 것이다. 이 명제에 도달하기 위해 과학자들은 고단한 논쟁을 벌여야만 했다. 예를 들어 고대 이집트인들은 심장을 영혼의 장소로 여겨 죽은 이의 심장을 미라로 만든 반면, 두개골 속의 뇌는 파내어 버렸다. 당대의 위대한 석학 아리스토텔레스조차 뇌를 마음의 장소인 심장이 활동할 때 발생하는 열을 식히는 일종의 냉각기라고 생각했다. 근대 철학의 문

을 열어 제친 데카르트는 영혼은 물질로 환원될 수 없으며 송과신을 통해 물질적 육체와 교신한다고 보았다.

마음의 장소가 뇌라는 사실은 철학자들의 상상력과 논리학으로 정립된 것이 아니었고, 실험 현장에서 과학자들의 체계적 관찰을 통해 혹은 우연히 얻어 낸 발견들로부터 나왔다. 마음에 대한 ‘과학’이 시작된 시점은 마음이 뇌라는 물질적 기반 위에 존재하는 것임을 받아들이기 시작한 시점이며, 이는 곧 근대 뇌과학의 출발인 셈이다.

마음의 자리는 뇌라는 명제는 뇌과학의 시작일 뿐, 뇌과학의 목표라 할 마음과 행동의 생물학적 기초를 밝히는 것은 어마어마한 노력과 지혜를 필요로 하는 매우 도전적인 작업이다. 뇌는 비전문가의 눈에 그저 1천400cc의 크기와 1.4kg 정도의 무게를 지닌 주름지고 뽕뽕한 두부덩이 같아 보인다. 그러나 뇌에는 약 10^{10-13} 개의 뉴런들과 그들 사이를 연결하는 더 많은 수의 신경가닥들이 망을 이루고 있으며, 이들은 복잡하게 변화하는 분자생물학적, 화학적 환경에서 활동한다.

뇌의 뉴런들과 신경망들에서 벌어지는 전기화학적 활동들이 어떠한 과정을 거쳐 복잡하고 다양하기 이를 데 없는 마음과 행동의 측면들을 발생시키는가를 밝히는 것이 현대 뇌과학자들이 마주한 숙제다. 이러한 작업의 어려움은 우주의 물리적 기초를 푸는 숙제를 마주한 한 뛰어난 물리학자의 고백에 견줄 만하다. “우리는 무엇이 옳은 질문인지 미리 알지 못한다. 해답에 다가갈 때까지 옳은 질문이 무엇인지 알아채지 못하는 경우도 자주 있다.” 스티븐 와인버그의 말이다.

카탈, '뉴런독트린 선포' · 뇌의 기본단위는 뉴런

뇌과학자들은 지난 세기 다양한 방법들을 동원하여 이 도전적인 숙제에 응전하여 고단한 여정을 걸어 왔다. 비록 여전히 갈 길이 멀지만 그 동안 이론 성취도 결코 만만치 않다. 1889년 가을, 도은법이란 예리한 칼로 무장한 검객, 카탈은 독일 해부학회장의 연단에서 개별 신경세포들을 하나하나 도려내듯 떠낸 아름다운 그림들을 공개한다. 이 그림들로 그는 뇌가 연속적인 망상체가 아니라 서로 분리된 수많은 개개의 뉴런들로 이루어져 있다는 것을 증명하고, 많은 동료 과학자들의 동의를 끌어내어 “뇌의 기본 단위는 뉴런이다”라는 ‘뉴런 독트린’을 선포하기에 이른다,

아드리언과 하트라인 등은 또 다른 뇌의 중요한 비밀을 밝혀서 뉴런 독트린을 강화시켰다. 뉴런들이 서로 대화할 때 모스와 같은 부호를 사용하는데, 이 부호는 국지적이며, 스스로 옮겨 다니기도 하고, 실무울적(all-or-none)인 일종의 전기적 교란으로 뇌의 모든 지역에서 통용된다는 것이었다.

‘뇌의 핵심 단위는 뉴런이며, 뉴런들은 만국공통의 부호로 대화한다’는 단단한 패러다임을 확보하여 이른바 토마스 쿤이 정의한 정상과학의 지위에 오른 뇌과학은 주로 감각뉴런들에 다양한 입력들을 제시해가며 이 부호들이 어떻게 변화하는지를 관찰하기 시작했다. 휴블과 위즐에서 정점에 이른 이러한 관찰들은 하나의 뉴런이 매우 선택적 자극에만 반응을, 즉 신경부호들을 발생시킨다는 대단히 놀라운 결과를 보고했다.

이를테면 고양이 대뇌 후두엽에 있는 시각피질의 한 뉴런에 전극을 내렸을 때, 망막의 아주 제한된 영역에 10시 방향으로 기울어진 막대가 오른쪽 위로 움직일 때만 그 뉴런이 맹렬하게 반응을 한다는 것이었다.

선배 해부학자들과 전기생리학자들의 발견에 자극받은 뇌과학의 후예들은 뇌가 수많은 영역들로 나뉘어 있으며 각 영역마다 고유한 마음의 특정한 측면들만을 표상하거나 행동의 특정 측면들과 관련되어 있음을 밝혀 왔다.

여러 형태의 감각입력 사건들을 등록하는 감각영역들, 펜필드가 예시한 것처럼 과거에 발생한 사건들의 흔적을 지닌 기억과 체계적 지식을 담당하는 영역들, 감각영역의 출력과 기억·지식영역들의 출력을 결합하여 적응적인 반응을 결정하는 의사결정과 관련된 영역들이 있으며, 이 모든 활동들에 따르기 마련인 정서적 반응과 관련된 영역들도 존재함이 밝혀지기 시작했다. 이른바 뇌에 마음의 지도를 그리기 시작한 것이다.

뇌, 각 영역마다 고유한 마음의 특정한 측면만 표상

현대의 뇌과학자들은 마음과 행동의 다양한 측면들과 상관된 뉴런의 활동을 기록하는 것에 만족하지 않고 공격적 질문들을 던지기 시작했다. 자연스런 마음이나 행동산출의 과정에 발생하는 신경부호들을 소극적으로 관찰만 할 것이 아니라 적극적으로 왜곡함으로써 유기체의 마음이나 행동을 원하는 대로 조절할 수 있을까?

스탠포드 대학의 뉴섬과 동료들은 MT(중측두영역)라는 시각영역에서 특정한 방향의 움직임과 상관된 반응을 보인 뉴런들을 포착한 다음, 원숭이들이 움직이는 물체를 보고 있을 때 그 뉴런들에 미세한 전류를 흘려보냈다. 놀라운 결과가 나왔다. 원숭이들은 자신들이 지각한 방향대로 보고하도록 잘 훈련됐었는데, 제시된 물체들이 물리적으로 특정 방향 없이 움직였음에도 불구하고, 위쪽 방향에 조율된 뉴런들을 전기적으로 자극하면 원숭이가 위쪽 방향의 움직임을 보았다고 보고하는 확률이 우연수준에 비해 월등히 높게 나온 것이다. 뇌의 활동을 교란하여 마음을 움직인 이 실험은 마음을 조작하는 인공보조장치 개발이 가능함을 시사하는 매우 의미심장한 시도이다.

뉴섬과 동료들이 뉴런의 활동을 조작하여 마음을 움직였다면, 마음과 상관된 뉴런의 활동을 읽어 행동으로 번역하는 연구들이 최근 활발하게 진행되고 있다. 칼 테크의 앤더슨과 동료들 및 피츠버그의 슈바르츠와 그 동료들은 원숭이의 뇌에서 운동계획에 관여하는 여러 인지 영역 세포들의 부호들을 풀어내어 원숭이들의 선호도와 동기수준을 읽어 냈다. 또한 원숭이들의 운동계획을 읽어 내어 로봇 팔을 원숭이의 의사판단에 일치하도록 움직이는데 성공했다 (http://www.pbs.org/newshour/bb/science/jan-june08/monkey_05-29.html). 이러한 발전은 사고로 인해 척수가 손상되어 마비된 몸을 지녔으나 뇌의 인지기능은 여전히 건강한 많은 환자들에게 엄청난 희망을 제시하는 결과라 할 수 있다.

몇 년 전까지만 해도 뇌과학 활동의 대부분은 뇌에 주어지는 입력과 가까운 쪽이나 뇌의 출력과 가까운 쪽의 뉴런 활동에 초점을 맞추어 왔다. 최근에는 그 사이에서 일어나는 매우 복잡한 문제해결이나 의사결정 과정의 신경적 기초를 이해하는데서 획기적인 진전을 보이고 있다.

뇌과학자들은 경제적 의사결정의 문제를 건드리기 시작하며 해묵은 경제학의 딜레마에 새로운 이해의 틀을 제공하고 있다. 뉴욕 대학의 글리셔는 원숭이들의 뇌에서 특정 뉴런들이 경제적 투자행동과 관련된 의사판단과 상관된 활동을 보인다는 매우 흥미로운 결



연구에 획을 긋는 연구결과들이 최근 폭발하듯 쏟아져 나오고 있다. 주된 흐름은 전통적으로 뇌과학 영역의 바깥이라 여겨져 왔던 분야들이 하나 둘씩 뇌과학의 손길을 받기 시작했다는 것이다. 예를 들어, 지금껏 철학자들의 전유물로 인식돼 온 ‘의식’ 혹은 ‘자각’의 문제를 뇌과학자들이 초보적인 형태로나마 공격하기 시작하여 이른바 ‘의식의 신경상관(NCC)’이란 주제로 의식연구에 획기적인 전환점을 제공하기 시작했다.

소비활동에서 ‘상표 가치’의 신경적 기초를 밝히는 작업들을 중심으로 뉴로마케팅, 혹은 넓은 의미로 뉴로이코노믹스란 분야가 생겼는가 하면, 두 사람 이

과를 보고하였다.

그의 실험에서 목마른 원숭이들은 매 번 도박을 하도록 강요받았다. 예컨대 A란 선택지는 동전을 던져 앞면이 나오면 주스 1천cc를 마실 수 있고, 뒷면이 나오면 주스를 아예 마시지 못하는 반면, B란 선택지는 동전 던지기 결과와 상관없이 500cc의 주스를 보장받는다. 경제학의 용어를 빌리자면 이 두 선택지는 ‘기대값’의 측면에서는 동일하지만 ‘기대효용’은 B가 더 높다고 할 수 있다. 놀랍게도 글리셔가 관찰한 뉴런의 활동수준은 도박에 열중한 원숭이들의 선택을 매우 정확하게 예언하며 기대효용의 수준에 따라 역동적으로 변화하였다. 복잡한 수학으로 유도된 하나의 추상적 경제학 방정식의 해법이 원숭이 뇌의 한 세포의 활동으로 번역된 것이다.

‘기능적 자기공명영상’으로 뇌 활동 직접 측정 가능

최근에는 ‘기능적 자기공명영상(fMRI)’이라 불리는 뇌영상 기술을 통해 인간들의 뇌활동을 직접 측정하기에 이르렀다. 비록 fMRI는 뉴런의 활동을 간접적으로 측정하며 시공간의 해상도가 제한적이긴 하지만, 뇌의 여러 곳에서 벌어지는 수많은 뉴런들의 활동을 모니터링할 수 있으며, 원숭이와 인간의 뇌 활동을 직접 비교함으로써 과거 동물모델을 통해 축적된 단세포 측정법의 결과들을 인간의 뇌에 적용할 수 있는 소중한 기회를 제공한다.

나아가, 인간에게 특징적인 여러 고위 인지기능 및 정서, 사회적 적응기능의 신경적 기초를 연구할 수 있게 되었다는 점에서 뇌과학

상이 fMRI 스캐너에 동시에 들어가 인터넷으로 상호작용을 할 때의 뇌 활동을 측정함으로써 사회적 능력의 신경적 기반을 탐구하는 소셜 뉴로사이언스 등의 분야도 생겼다. 아직 소수이긴 하지만 인문학자 또는 사회과학자들이 뇌과학 학회장 근처를 어슬렁거리기 시작한 것이다. 그들이 뇌과학자들의 발견에 관심을 보이며 다가와서 자신들이 축적해온 개념들의 외연도 넓히고 또한 미래 뇌과학 연구에 적절한 지침을 주기도 하여 매우 생산적인 학제 간 상호작용이 무시할 수 없는 흐름으로 등장하고 있는 것이다.

뇌과학은 젊은 학문이다. 그리고 뇌과학이 마주한 엄청난 난이도와 방대한 양을 지닌 숙제들은 다양한 분야의 많은 과학자들의 노동을 요구하고 있다. 필자는 각 분야의 젊은 과학자들이 자신들이 하는 연구활동이 뇌과학의 질문들과 그리 멀리 있지 않다고 여길 바란다. 우리 뇌과학자들에게 가야 할 길이 많이 남아 있고 풀어야 할 어려운 숙제들이 산적해 있지만, 우리는 즐거운 불평을 해대며 연구실로 달려간다. 마치 새로운 발견에 두근거리는 기쁨을 어떻게 하지 못해 잠 못 이룬 카탈치런. ①

(필자 주 : 본 칼럼은 2004년 9월 교수신문에 기고했던 글을 편집하고 수정한 글이다.)



글쓴이는 서울대학교 심리학/철학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 미국 밴더빌트대학교에서 시각신경과학 박사학위를 받았다. 현재 서울대 심리학과 교수, 뇌과학 협동과정 및 컴퓨터공학부 겸임교수로 재직중이다.