

## 뇌, 마음 및 행동\*

김 정 오†

서울대학교 심리학과

뇌, 마음 및 행동의 관계에 대한 개념적 기초를 바탕으로 뇌영상화 및 사건유발전위 연구를 개관하였다. 인지과정이나 표상의 엄밀한 국제화를 보여주는 증거는 빈약하고, 분산된 신경망 처리를 지지하는 결과와 모형들이 보고되고 있었다. 뇌 영상화 연구에 대한 비판을 정리하고, 과제 분석의 중요성을 고찰한 다음, 다시 뇌, 마음 그리고 행동의 관계를 방법론적 수렴의 측면에서 논하였다.

주제어 뇌와 마음, 국제화, MRI, ERP

심리학 개론의 내용 중 학생들이 별 관심을 보이지 않거나 싫어하는 것 중 뇌에 관한 내용이 첫 자리를 차지한다. 필자는 지난 학기의 개론 수강생들에게 뇌에 관해 관심이 없는 까닭을 물었다. 그 첫 번째 답은 “눈에 보이지 않으니까”였

다. 그 다음으로 “별 탈 없이 잘 돌아가니까”와 “의식의 주체이므로 자각하지 않으니까”라는 반응이었다. 뇌에서 활성화된 부위를 측정하는 뇌 영상화 측정(예, MRI)연구와 시간 상 자극과 관련된 매우 짧은 뇌파를 측정하는 사건유발전위

\* 본 연구는 과학기술부에서 주관하는 Brain Neuroinformatics Research Program의 지원으로 수행되었다.

† 교신저자 : 김 정 오, (151-742) 서울시 관악구 신림동 산 51, 서울대학교 심리학과,

E-mail : jungokim@plaza.snu.ac.kr

(ERP) 연구의 결과들은 눈에 보이지 않기 때문에 뇌에 관심이 없다는 이러한 인식에 도전한다. 뇌의 어느 부위에서 어떤 인지과정이 언제 발생하고 있는지를 높은 공간적 해상력(spatial resolution) 또는 시간적 해상력(temporal resolution)을 가지고 보여주기 때문이다. 본 원고는 뇌, 마음 그리고 행동의 인과관계를 심신관계론과 설명수준론에서 간단히 살펴보고, 최근의 뇌 영상화와 뇌파 측정 연구를 중심으로 뇌와 인지과정의 관계를 본 후, 뇌 영상화에 관한 비판적 입장을 정리한다. 뇌, 마음 그리고 행동에 관해 과제분석을 중심으로 접근하는 본 논문에서는 이러한 비판과 분석을 중심으로 어떤 결론을 내릴 수 있는지 알아본다.

### 뇌, 마음 그리고 행동 연구의 기초

데칼트의 상호작용적 이원론 이후 철학, 심리학 그리고 생물학에서 공간적인 뇌와 비공간적인 마음의 관계에 관해 다양한 논의가 전개되었다. 이원론, 상호작용적 이원론, 일원론 등의 심신관계론 중 뇌, 마음 그리고 행동의 관계를 밝히는 데 크게 기여한 입장은 상호작용적 이원론이다. 이 이론은 공간적인 뇌가 비공간적인 마음과 상호작용한다는, 즉 개념적인 모순을 안고 있다. 뇌를 마음과 행동의 원인으로 보는 입장은 예를 들어, 뇌 손상이 성격에 미치는 영향, 성 홀몬을 주사하였을 때 달라지는 짝짓기 행동을 연구한다. 행동을 원인으로 보는 입장은 예를 들어, 동물로 하여금 각기 다른 어떤 환경에서 살도록 한 후 뇌신경 구조를 분석하거나, 동물에게 어떤 패턴을 보여주고 뇌의 어느 부위에서 활성화가 있는지 측정한다. 제3의 인과관계 입장은 뇌와 행동의 상관을 계산하여 예를 들어, 유전과 환경이 지능에 미치는 영향을 측정한다. 인과의 그 어떤

방향을 택하건 상호작용적 심신관계론에 바탕을 둔 뇌 연구의 결과들은 뇌와 마음 또는 행동을 더 이상 대립적인 관계로 보지 않도록 하였다. 뇌, 마음 그리고 행동은 통합적으로 작용한다. 마음과 행동을 원인으로, 뇌를 결과로 보는 인과관계는 최근에 뇌지도(brain map)를 그리려는 연구의 입장이다.

1980년대 초기에 Marr가 제안한 설명수준론은 뇌와 마음 그리고 행동에 관한 연구에 큰 영향을 주었다. 어느 한 시스템의 지능적 행동을 설명하려면 계산론, 알고리즘, 그리고 하드웨어의 세 수준이 고려되어야 한다는 이 생각은 전산과학, 인지심리학, 그리고 신경해부학간에 느슨하면서도 서로의 방법론의 문제점을 보완하면서, 각 분야 실험 결과의 해석을 제약하는 설명을 찾도록 하였다. 어떤 정보처리과제를 해내기 위해 무슨 정보가 어떤 이유로 어떻게 계산되고 그것이 하드웨어에서 어떻게 구현되어야 하는지 물어야 한다. 종전의 신경해부 연구들이 어떤 신경원의 존재나 그 경로를 밝히면 인지 행동이 쉽게 설명된다고 본 반면, 이 접근은 그 신경원이 독특하게 작용하는 방식을 설명해야 한다고 강조하였다. 설명수준론은 풀기 어려운 정보처리 문제를 여러 작은 문제들로 나누어 각 전문시스템이 처리하는 것을 가정한다. 이러한 생각은 뇌의 어떤 영역이 특정 인지 기능을 지원한다는 국재화(localization) 개념과 잘 들어맞는다. 설명수준론은 또한 다층적인 표상 구조와 이 구조들에 대한 병렬적인 정보처리를 강조한다.

설명수준론의 파급 효과는 대단하였다. 전산과학의 시뮬레이션 실험, 심리학의 인지-행동실험, 그리고 신경과학 실험의 정체성을 확립하는 동시에, 각 분야의 방법론간에 활발한 소통을 초래하였다. 최근의 뇌 영상연구에서 측정 기법 때문에 단순화된 인지-행동 실험 과제를 많이 사용하고

있는 것도 바로 그 한 결과이다. 인지-행동 실험은 해당 과제를 사람들이 수행할 때 동원되는 인지과정과 표상의 성질을 1/1000초 단위로 측정하여 시간적 해상력(temporal resolution)은 매우 높지만, 그 과정이 뇌의 어느 부위에서 발생하는지에 관한 공간적 해상력은 없었다. 뇌 영상화 실험은 두 해상력을 모두 높이면서 입력의 정보처리에 관여하는 신경하부구조나 경로를 밝혀낸다. 요컨대, 상호작용적 심신관계론과 설명수준론은 현재 뇌, 마음 그리고 행동의 관계를 뇌파의 변화나 국지적 뇌혈류(regional cerebral blood flow)의 증가로 밝히고 있는 최근의 뇌 연구의 이론적 근거이다.

### 사건유발전위 및 뇌영상화 연구

사건유발전위(event related potential, ERP)는 신경화학전달 중에 발생한 연결 후 전위가 두피에 부착된 전극으로 수집된 것이다. ERP를 측정하는 연구들은 제시된 자극에 대해 시간 차원에서 물린 일부 전위를 그 분석 대상으로 한다. 이 전위가 측정된 두피 부위와 그 시간 정보를 이용하여 인지-행동 실험보다 좀더 높은 시간상의 해상력으로 뇌에서 진행되는 인지과정의 정보처리 성질을 밝혀낸다. 기능적 핵자기공명영상(functional magnetic resonance imaging fMRI)은 뇌의 전기적 활동을 직접 탐지하지 않고, 신경원들의 증가된 대사에 대한 반응으로 나타나는 국지적 뇌혈류의 증가를 측정한다. fMRI는 사건유발전위 기법이 가지고 있는 시간적 해상력은 물론 공간적 해상력도 가지고 있다. 따라서 주의, 지각, 기억 등의 인지과정을 지원하는 뇌 신경해부영역들과 그들의 관계를 밝힐 목적으로 광범하게 활용된다.

이제 이 두 기법을 사용한 연구들을 간략히 살

펴보자. ERP 기법이 뇌에서 발생하는 인지과정의 성질을 밝히는 데 기여하고 있는 분야는 주의 분야이다. Luck, Woodman, 그리고 Vogel (2000)은 주의에 대한 사건유발전위 연구가 크게 네 가지 측면에서 기여했다는 결론을 내렸다. 주의의 초기 또는 후기 선택과 관련해서 주의가 자극 제시 후 50ms경 feedforward식으로 작용하며, 공간주의는 선조피질이 아니라 그 주변에 있는 후 방후상회에서 생성되고, 위치는 물론 어떤 표면도 비슷하게 빨리 선택한다. 후기 선택의 현상으로 간주되는 주의 깜박임(attentional blink)과 심리적 불응기는 각기 기억 또는 반응선택과 관련 있다. 주의 깜박임이란 한 표적을 탐지한 후 300 ms 전후에 제시되는 두 번째 표적이 잘 탐지되지 않은 현상이다. 심리적 불응기란 한 자극을 지각하고 반응을 하려할 때 그 자극 다음에 곧 다른 새 자극이 제시되어 다른 반응을 요구하면, 두 자극간의 제시시차에 따라 두 번째 자극에 대한 반응이 느려지는 현상이다. 이 두 주의현상의 인지과정적 차이는 자극이 제시된 후 300 ms 경 양전기로 편향하는 P300의 패턴이 주의 깜박임과 심리적 불응기 두 과제에서 전혀 다르게 관찰되었기 때문이다.

사건유발전위는 많은 시행들에서 자극의 제시 후에 발생하는 뇌파를 평균해서 얻는다. 이러한 평균화 과정에는 자극이 유발하고 그 시간이 고정되었으며 양극성인 뇌 사건들에 의해 사건유발전위가 발생했다는 가정이 깔려있다. 그러나 최근 Penny, Kiebel, Kilner 그리고 Rugg(2002)는 사건유발전위의 어떤 성분은 그 당시 진행 중인 뇌의 역동성에 자극이 일으킨 변화 때문에 생성되었음을 주장하는 증거들(예, 뇌파의 위상적 동시성, phase synchronization)을 제시하였다. 즉 사건유발전위의 성분은 여러 전문화된 뇌 영역들의 기능적 통합을 반영한다는 새로운 해석이다. 이 해

석은 특정 사건유발전위의 성분, 예를 들어 P300을 생성한 뇌 영역들(예, 측두엽, 전대상회 피질, 하전두구 등)을 찾는 기존의 접근(개관은 Herrman과 Knight, 2001을 참고)과는 다른 접근이다.

Herrman과 Knight(2001)는 뇌의 주의과정에 관한 사건유발전위와 뇌영상화 연구를 개관하였다. 이 연구에서 감각 피질(사건유발전위의 P1과 N1 성분과 관련됨), 후연합피질(P3 성분과 관련됨), 해마형성, 전전두피질 등이 뇌의 주의반응과 밀접한 관련이 있었다. 시각주의에 관한 연구들을 개관한 Albright, Kandel 그리고 Posner(2000) 역시 선택주의기제가 뇌의 여러 영역, 즉 V1, V2, V4, MT, MST, 그리고 IT에서 작용하고 있음을 보여준다. 이 결과는 선택주의 기제들이 여러 세부특징 지도에서 동시에 작용함을 시사한다(주의에 관한 인지신경과학적 접근의 방법론적 특징과 비판은 김정오, 1998을 참고).

주의에 관여하는 뇌의 여러 영역 중 전대상회 피질(anterior cingulate cortex)이 정동정보와 인지정보의 통제와 관련된다. Bush, Luu 그리고 Posner(2000)는 피질의 이 영역에 관한 fMRI 연구 결과를 개관하였다. 이들에 의하면, 분리주의나 복합적인 반응선택 과제인 Stroop 또는 Stroop 유사과제를 수행할 때 전대상회 피질의 인지영역이 활성화되고, 그 아래의 정동영역은 탈활성화, 즉 억제되는 반면, 공격성이 있는 단어의 개수를 헤아리기와 같은 정동과제를 수행할 때 그 반대가 된다. 즉 전대상회의 두 영역간에 상호역제적인 활성화 패턴이 관찰되었다. 이러한 fMRI 연구의 결과로 뇌 영역의 기능적 하위 분할(subdivision)이 잘 이루어진다. 이처럼 과제유형에 의한 국제화는 곧 살펴 볼 자극유형에 의한 국제화와 그 효용성과 결론의 명료성에서 대조된다.

Farah와 Aguirre(1999)는 단어, 물체 및 얼굴 재인에 관여하는 뇌 영역들을 찾을 목적으로 수행

된 양전자방출단층사진술(PET) 또는 fMRI 기법을 사용한 17개 연구를 개관하였다. 그 결과, 20가지의 실험 과제들을 사용한 이 연구들이 84개 위치들을 찾은, 다시 말하면 정확한 국제화가 결여되어 있었다. Farah와 Aguirre(1999)는 이러한 결과가 부분적으로는 최대로 활성화된 위치를 찾을 때 실험실마다 다른 자료처리 기법을 사용하거나, 측정 대상인 개인들간의 차이, 그리고 더 중요한 것은 영상 측정시의 실험 설계 문제라고 주장하였다. 실제로 사람들이 건물을 보거나, 얼굴을 응시하도록 하였을 때 우반구 방추상회에서 사람의 얼굴에만 최대의 활성화를 보이는 영역이 발견되었다(Kanwisher 등, 1996).

많은 물체들 중 사람의 얼굴에만 반응하는 개인체계가 뇌에 국제화되어 있다는 흥미로운 결과는 곧 도전을 받았다. 우반구 방추상회의 신경원들이 사람의 얼굴은 물론 경험을 많이 한 새나차의 모양에도 반응한다는 fMRI 측정 결과 및 다른 여러 결과들은 '얼굴에 반응하는' 국제화된 영역이 있는 것이 아니라, 다시 말하면 범주 수준이 아니라 하위범주 수준에서 독특한 개체를 인식하는 영역을 생각하게 한다(Haxby, Hoffman, 및 Gobbini, 2000). Haxby 등은 시선, 표정 및 입술 움직임 등의 정보를 처리하는 상측두구 영역과 개인의 정체를 파악하는, 즉 변하지 않는 얼굴 정보를 처리하는 외측 방추회 영역이 핵심 영역을 구성하고, 이 두 영역이 편도핵, 청각 피질, 전측두엽 등의 영역들과 상호작용한다는, 즉 얼굴재인이 국제화된 영역이 아니라 분산된 신경망에 의해 이루어진다는 모형을 제안하였다. 최근 Malach, Levy 그리고 Hasson(2002)의 fMRI 결과는 사람들이 숙련된 경험으로 자세히 분석해서 지각하는 얼굴, 문자 그리고 단어는 시야의 중심에 편중되게, 개괄적으로 처리하는 건물은 시야의 말초에 편중되도록 각기 시각 피질에 사상됨을

보여주었다. 이 결과는 Haxby 등의 주장을 지지한다. Riesenhuber와 Poggio(2002)의 물체재인에 관한 계산론적 신경망 모형도 동일한 신경회로들이 여러 다른 물체의 재인에 동원되고 있음을 가정한 다.

Kuperberg, McGuire, Bullmore, Brammer, Rabe-Hesketh, Wright, Lythgoe, Williams 그리고 David (2000)은 정상적인 문장과 화용적, 의미적 또는 통사적으로 위반되는 문장들을 참여자에게 들려 주고 뇌에서 그 활성화가 큰 영역들을 찾았다. 이들의 fMRI 연구는 세 유형의 언어정보들이 모두 좌반구 하측두 방추회에서 처리됨을 수렴적으로 보여주었다. Ni, Constable, Mencl, Pugh, Fulbright, Shaywitz, Shaywitz, Gore 그리고 Schankweiler(2000)도 통사적으로 또는 의미상 정상적이거나 비정상적인 문장을 들을 때의 뇌 활성화를 측정하였다. 좌우반구의 여러 부위에서 활성화가 있었는데, 통사적으로 비정상적인 문장들은 브로카 영역(즉 좌반구 전두회 영역)에서, 의미적으로 비정상적인 문장들은 베르니케 영역에서 큰 활성화를 보였다. 통사적 비정상성과 의미적 비정상성을 비슷하게 조작하였지만, Kuperberg 등은 좌반구 방추회가, Ni 등은 좌반구 전두회 영역이 통사처리의 핵심 영역이라는 결론을 내렸다(관련된 개관은 남기춘, 2002를 참고).

국재화 상의 이러한 차이는 앞서 개관한 물체 재인 연구들에서도 자주 관찰된 현상이다. 최근 Hickok과 Poppel(2000)은 말지각의 기능적 신경해부구조에 관한 분산된 신경망 모형을 제시하였다. 이들의 모델은 소리에 근거하는 말 표상의 형성은 좌우반구의 후상측두엽에서, 청각처리와 개념처리의 연결은 측두-두정-후두 접점에서, 운동-조음 체계는 하전두 영역에서, 청각입력과 운동의 연결은 하두정엽에서 지원되고 있음을 가정한다. 이 모형에 의하면, Kuperberg 등의 fMRI 실험은

청각-개념의 연결을 맡은 영역을, 짧은 문장들을 제시한 Ni 등은 운동-조음체계를 주로 활성화시킨 것으로 보인다. Kuperberg 등은 비정상적인 문장을 만들 때 자동사 다음에 목적어가 오는 것처럼 동사와 목적어의 관계를 변화시킨 반면, Ni 등이 동사의 시제를 위반하는 식으로 자극을 구성한 것도 각기 다른 언어영역들이 활성화된 한 주요 원인으로 보인다.

주의, 물체 재인, 그리고 언어처리에 관한 뇌 영상 연구와 사건유발전위 연구는 특정 인지과정 배후에 분명히 국재화된 뇌 영역을 밝히지 못하였다. 그 주된 이유는 자극 유형에 대한 사람들의 경험 정도(즉 전문성)가 다르고, 각 과제의 수행에 요구되는 인지과정과 표상들이 다르다. 무엇보다 뇌 영역들간의 긴밀한 연결성(connectivity) 때문이다. 현재 약한 의미의 국재화와 영역들간의 분산된 신경망을 가정하는 모형들이 제안되고 있다. 물체재인에 관한 Haxby 등 (2000)의 모형과 말 지각에 관한 Hickok과 Poppel (2000)의 모형이 이러한 경향을 잘 나타내고 있다.

## 뇌 영상화 연구에 대한 비판

Menon과 Kim (1999)은 fMRI 측정 기법으로 인지과정 배후의 신경해부구조를 국재화하는 작업에 시간적, 공간적 제약이 있음을 자세히 개관하였다. 그 주된 이유는 fMRI가 뇌신경원의 전기적 활동을 직접 탐지하지 않고 또 그 대사 상의 빠른 증가도 측정하지 않고, 앞서 언급한 바처럼 증가된 대사에 대한 반응으로 나타나는 국지적 뇌혈류의 증가를 측정하기 때문이다. 이처럼 간접적인 측정은 시간적 해상력을 향상시키려는 노력에 심한 제약을 가한다. 다른 이유는 모세혈관에 대한 혈액 공급이 개개의 신경원 수준에서 통

제되지 않고 0.5 ~ 1.5mm에 국한되기 때문이다. 이 때문에 fMRI로 가능한 궁극적인 공간적 해상력에 한계가 있다.

fMRI는 양전자방출단층영상(PET)에 비해 뇌 영역의 기능적 활동을 비교적 명료하게 드러낸다. 그러나 fMRI 신호와 신경활성화의 관계가 현재로는 분명히 밝혀져 있지 않고, 뇌의 모든 영역들이 깨끗이 영상화되지 않으며, 측정 대상자의 움직임에 민감하며, fMRI 신호를 방출하는 생리과정의 시간 경과 때문에 시간적 해상력에 제약이 있다. 이러한 제약을 극복하려는 노력의 일환으로, 최근의 고해상도 fMRI 측정기법이 발달하여 연구자들로 하여금 밀리미터보다 더 작은 기동 및 판상조직 구조에서 발생하는 신경활동을 매우 높은 시간적 해상력을 가지고 측정할 수 있게 한다(Kim & Ogawa, 2002).

Uttal (2001)은 논리, 자료처리, 및 결과에서 뇌 활성화 측정에 의한 국제화 연구들의 문제점들을 정리하였다. 뇌가 정보를 분산 처리하는 비선형 시스템이기 때문에 실험조건을 활성화 이미지에서 통제조건을 활성화 이미지를 빼어 실험조건과 연합된 인지과정을 독특하게 지원하는, 즉 활성화된 영역을 찾는 감산법은 근본적으로 잘못되었다. 감산법으로 밝혀낸 뇌 활성화 영상 패턴은 인지활동과 관련된 뇌 영역을 틀리게 나타낼 수 있고, 또 현저한 인지활동을 은폐하기도 한다. 뇌 영상 이미지 자료를 처리할 때 평균을 내고, 생리적 잡음을 여과하고, 표준화하는 이 모든 변형 절차가 뇌의 영역들에 관한 지식을 왜곡할 수 있다.

감산법을 적용할 때 연구자들은 한 과제의 수행에 동원되는 뇌 영역들이 독립적인 정보처리 체계임을 가정한다. 그러나 한 과제를, 예를 들어 기억과제를 수행할 때 관여하는 여러 영역들이 때로는 경쟁적으로, 때로는 협동적으로 때로는

독립적으로 활동할 수 있다. Kim과 Baxter(2001)는 연합강도의 증가에 있어 두 기억체계간의 상호작용 방식, 즉 경쟁적, 협동적, 그리고 독립적 상호작용에 따라 예를 들어, 눈꺼풀 조건형성의 연합강도가 현저히 달라짐을 시뮬레이션 실험으로 밝혔다.

뇌 영상화 연구는 fMRI 반응시간이나 그 폭을 계산할 때 다음과 같이 가정한다. 즉 시행이 반복되면서 인지과정의 길이는 변하지만, 자극과 직접 관련된 시감각 성분과 반응 단추 누르기 같은 운동 성분의 시간은 고정된다(Menon과 Kim, 1999). 이러한 가정은 fMRI 신호의 시간 특성들을 행동과 관련시켜 시감각 성분, 인지 성분 및 운동 성분을 각기 특정 뇌 영역과 관련지을 때 중요하다. 문제는 뇌 연합 영역의 상당한 부분과 특히 감각, 운동 및 소뇌 영역이 인지과정과 긴밀하다는 사실이다(Uttal, 2001). 다시 말하자면, 시감각 성분과 운동 성분을 인지과정과 무관한 시간 상수로 정하기 힘들다.

지금까지 지적된 뇌 영상화 연구 방법론의 문제점들 중 앞으로 공학 기법의 발달로 해결될 문제도 있고, 인지심리학이나 전산과학 분야에서 해결될 수 있는 문제도 있다. 예를 들어, 인지심리학을 포함한 실험심리학에서 감산법과 함께 경쟁적으로 사용된 가산요인법(additive factor methodology)을 적극 도입하여 감산법 문제를 다룬다. Uttal (2001)의 염려와 경고와 비판은 한편으로 적절하지만, 엄밀한 국제화를 그 목표로 삼은 fMRI 연구들이 갈등적인 결과를 낼 때 일련의 결과들에 대한 메타 분석이나 Haxby 등(2000), Hickok과 Poppel(2000), 그리고 Riesenhuber와 Poggio(2002)이 시도한, 즉 약한 의미의 국제화와 분산된 신경망을 가정하는 모델로 지적된 여러 문제들을 해결할 수 있다.

칸트는 일찍이 “지각 표상이 없는 개념은 공허

하고(empty), 개념이 없는 지각표상은 맹목적(blind)이라"고 말한 바 있다. 뇌에서 어느 정도 국제화된 신경원 범주를 찾기 힘든 개념은 그 내용이 없고, 다른 여러 영역과 기능적으로 연결되지 않은 지각표상의 활성화는 맹목적일지 모른다. 다른 인지과정이나 특히 행동과 직접 연결되지 않는 지각표상은 그 효용성이 떨어질 것이다. 신호와 잡음의 비율 높이기 위해 뇌 영상을 측정할 때 머리카락의 움직임 통제를 한다. 이러한 상황에서 뇌와 마음의 기능적 관계를 해상력이 높게 측정할 수 있다. 그러나 인지과정과 행동의 관계 역시 중요하다. 구체적인 움직임이 통제된 상황이지만 운동의 준비와 실행을 모사할 수 있도록 훈련된 상황에서 뇌 영상을 측정할 필요가 있다.

학습과 기억에 관한 신경생물학 분야에서 현재 유행하는 지나치게 미세한 환원주의 경향에 대해 Cahill, McGaugh 그리고 Weinberger(2001)도 생물학적 변수는 물론 행동변수의 중요성을 강조하였다. Cahill 등은 현재 학습과 기억 분야에서 통합적인 행동 수준의 시각을 택하는 대신, 환원적인 분자수준에서 유전인자를 중심으로 진행되는 연구들을 비판하였다. 학습과 기억 연구에서 학습과 수행의 차이가 매우 중요한데도 이것이 무시되고 있는 형편이다. 뇌, 마음 그리고 행동의 인과관계를 더 명료하게 밝히려는 신경 수준의 변수(시각의 경우, 영역, 기동조직, 판상조직, 손상부위와 그 크기, 손상시기 등)와 행동 수준의 변수(예, 준비성, 반응 양식, 반응의 선택, 특정 행동의 강도 등에서)를 모두 함께 고려해야 한다. 뇌 영상화 연구에서 측정상의 제약 때문에 행동을 지나치게 단순화시키거나 상수로 취급해버릴 때, 행동 변수가 간과되거나 축소될 때 밝혀진 뇌와 마음의 인과관계는 단편적일 수밖에 없다.

## 뇌 영상화 연구와 과제분석

현재 해결되어야 할 이론적, 방법론적 문제들이 많지만, 사건유발전위 연구와 뇌 영상화 연구들은 종전의 연구 방법론에 비해 뇌와 마음의 관계에 관해 공간적으로, 시간적으로 좀더 명료하게 진술할 수 있게 한다. 마음의 각 기능이 뇌의 어떤 부위에 또는 어떤 부위들간의 연결에 의해 구현되고 있는지를 확인 또는 부인할 수 있게 되었다. 국제화를 극단적으로 밀어붙이는 연구 결과들이 수렴적인 결과를 내지 못하고, 뇌 신경원의 범주화가 피상적이라는 사실이 들어나면서, 오히려 약한 의미의 기능적 국제화와 여러 영역들간의 분산된 연결망의 중요성이 더 현저히 부각되고 있다. 앞서 소개하였듯이, 이러한 경향이 주의, 물체재인, 그리고 언어처리 분야에서 드러난다.

사건유발전위 방법론과 PET, fMRI 기법을 사용한 실험 연구들이 많이 보고되는 이러한 상황에서 인지-행동 실험 연구는 뇌, 마음 그리고 행동의 관계를 밝히는 작업에 어떤 기여를 하는가? 특정 과제를 수행하는 데 필요한 인지과정들과 그 관계는 일차적으로 인지-행동 실험에 의해 밝혀진다. 인지과정의 성질을 잘 드러내는 진단적인 자극을 찾고, 그러한 자극을 처리하는 인지과정의 성질을 또한 잘 드러내는 행동을 찾는 작업은 방법론적으로 심한 제약을 받고 있는 사건유발전위나 뇌 영상화 실험에서 실현되기 힘들다. 과제에 따라 자극과 반응 행동 사이에 관여하는 인지과정들이 달라지는데 과제들간의 비교와 한 인지과제를 각기 다르게 수행하는 실험참여자들을 비교하여 이 과정들을 찾아야 한다. 한동안 학습의도가 없고, 인출의도가 없는 암묵기억(implicit memory)의 뇌해부구조적 근거를 찾는 신경과학연구들이 활발했다. 그러나 암묵기억과제

가 불수의적 인출과정을 통제할 수가 없기 때문에, 또 암묵기억 검사들에 대한 과제 분석이 충분하지 못하여 현재 이 구조의 뇌해부구조적 근거가 애매한 상태이다(예, 김정오, 2001a; 박태진, 2001).

사건유발전위 연구나 뇌 영상화 연구의 실험 과제는 인지-행동 연구들이 사용하고 있는 과제이거나 방법론적 제약 때문에 더 단순화된 과제들이다. 따라서 공간적 또는 시간적 해상력이 분명하더라도 그 결과 해석은 인지-행동 실험에서 밝혀진 인지과정이나 행동선택 과정에 바탕을 둔다. 같은 인지과제라도 실험 참여자에 따라 다른 처리방략이나 과정들을 사용한다. 이 때문에 해당 과제의 수행에 동원되는 인지과정에 관한 깊은 통찰과 이해가 필요하다. 그러나 많은 인지-행동 실험 과제들에 관해 어떤 통합된 이론과 분석들이 마련되어 있지 않다.

강은주(2002)는 PET과 fMRI를 이용하여 정상인과 뇌의 특정 영역을 손상당한 환자를 대상으로 형태 또는 단어의 연합기억에 관여하는 내측측두엽, 좌측전두엽, 해마방회와 같은 영역들을 찾았다. 정상인과 뇌 손상자는 각기 다른 여러 뇌 영역을 이용하여 연합기억을 해내고 있었다. 이 연구는 행동측정, 손상부위 측정 등은 물론 그 방식이 다른 두 뇌 영상화기법을 사용하였다. 이 연구는 사용한 방법들의 포괄성, 그리고 뇌 손상자와 정상인의 연합학습에 관여하는 영역 차이를 밝힌 점에서 인상적이다. 그러나 이 연구에서 구체적으로 연합기억의 형성과 그 정보의 활용에 어떤 인지과정들이 관여하는지에 관한 분석이 없다. 짝짓기 학습의 경우 반응학습과 쌍들의 변별 학습 두 과정을 밝는 것으로 밝혀져 있다. 정상인과 뇌손상자들이 반응학습과정과 변별학습과정 모두에서 차이 있는가? 다른 기억과제 예를 들어, 재인기억과제에서도 두 집단은 지금과 같은 영역

들의 활성화를 보일 것인가? 내측측두엽, 좌측전두엽, 해마방회 등 영역들간의 관계는 경쟁적인가, 상호작용적인가 아니면 독립적인가? (Kim & Baxter, 2001). 영역들간의 관계가 어떤 유형인지에 따라 연합학습에 관여하는 영역들의 국제화보다는 분산된 신경망 모형으로 강은주(2002)의 결과를 해석해야 할 것이다.

김민식(2002)은 특정 부위 뇌손상 환자와 정상인을 다른 과제를 사용하여 비교하였다. MRI로 후두엽-두정엽이 그 손상 부위로 밝혀진 시각적 무시증 환자와 정상인에게 세부특징표적을 찾는 검색과제와 형태와 색깔이 접합된 표적을 찾는 검색과제를 주었다. 세부특징표적의 검색에서 환자는 정상인들보다 느리기는 하였으나, 표적 위치의 변화에 따라 비슷한 결과를 보였다. 그러나 환자는 접합표적의 검색에서 정상인에 비해 매우 저조한 수행을 보였다. 전주의를 나타내는 세부특징표적의 검색에서 환자와 정상인이 비슷하였다는 결과는 공간에 대한 암묵적 표상이 환자에게도 있음을 시사한다. 그러나 접합표적의 검색을 잘 해내지 못한다는 결과는 이 환자가 명료한 공간위치 표상을 의식적으로 구성하지 못하고 있음을 시사한다.

Rafal(1996)은 시각적 무시증을 초래한 신경해부적 바탕으로 측두정엽경계, 두정상소엽, 반구 경쟁, 대상회 등 8가지 영역을 들고, 손상을 초래하는 인지기제로 내재적 주의 이탈, 수의적 주의 이동 등 역시 8가지를 정리하였다(김정오, 1998 참고). 김민식의 환자가 내재적 주의 이탈, 수의적 주의 이동, 요소에 지나친 몰입 등의 인지기제 중 어느 과정 때문에 접합검색과제를 잘 해내지 못하는지를 과제분석으로 밝혀야 한다. Driver(1996)은 시각적 무시증환자의 검색행동을 일화 정보가 약호화된 토큰과 의미정보만이 약호화된 타입으로 구분해서 설명할 수 있음을 제안



한 바 있다. Driver(1996)의 주장의 문제점은 타 입정보와 토큰정보의 통합에 주의가 필요 충분 조건임을 시사하는 직접적인 실험 결과가 없다는 점이다(김정오, 박민규, 1995; 김정오, 박민규, 김경용, 1996).

뇌 언어 영역들에 관한 개관에서 남기춘(2002)은 측두-두정-후두엽이 만나는 좌반구 5번 영역이 의미정보의 처리 그리고 단어음운과 철자 정보의 관련성을 처리하는 부분이라고 주장하였다. 이러한 결론을 내리기 전 각 실험에서 사용된 단어 및 문장 자극의 특징과 실험 과제들에 관한 분석이 뒷받침되어야 한다. 한 단어의 뜻과 그 단어를 이루는 어휘(sublexical) 정보가 같은 영역에서 처리된다는 이 결론은 '국제화' 개념과 맞지 않는다. 앞서 언급한 Hickok와 Poppel(2000)의 말 지각과 산출에 관한 분산처리모형과도 일치하지 않는다. 다양한 뇌 연구 방법론을 사용해서 얻은 실험 증거를 바탕으로 개발된 이 모형에서 후측두상엽은 음향에 근거하는 말 표상을 형성하는 기본적인 기능을, 5번 영역은 청각과 심성 어휘를 연결하는 기능을, 전두하엽은 운동조음 기능을, 두정하엽은 청각과 운동을 연결하는 기능(예, 어휘 음운구조에 주의해야 하는 과제의 수행)을 각기 맡고 있다. 철자, 발음 및 의미상 한글, 한자 그리고 영어의 구조적 차이를 고려하더라도 5번 영역에 여러 기능을 부여한 결론은 다시 검토될 필요가 있다.

정밀한 지도의 제작에 정확한 측량기술이 필요하고 이와 함께 훈련된 독도법이 필요하듯이, 뇌의 정밀한 지도 제작에도 정확한 측정 기법의 개발과 함께 인지과제들의 분석을 바탕으로 뇌지도 읽어나게 하는 과제분석론이 필요하다. 사람들이 한 인지-행동과제를 수행할 때 동원하는 인지과정들이 차이가 있으므로 두 가지 이상의 실험과제를 사용하되 진단적인 변수들을 조작하여

과제와 변수의 상호작용 패턴을 분석하거나, 한 과제를 여러 개의 하위 과제들로 나누어 이 하위 과제들의 수행을 비교한다. 이처럼 과제분석이 잘 되어 있으면 영역들간의 활성화 패턴에 대해 체계적인 설명과 해석을 할 수 있게 된다(기억실험에서 과제분석론은 김정오, 2001b를 참고할 것).

이 논문은 뇌 영상화 연구 결과를 해석할 때 인지-행동 실험에 근거하는 과제분석이 필요함을 강조하였다. 만약 자극과 행동 중심의 과제분석이 신경해부적으로 잘 구분되지 않는 결과를 초래할 때 이 문제를 어떻게 다룰 것인가? 예를 들어, 전전두엽의 각 하위영역의 활성화와 관련된 과제분석이 차이를 보이지 않을 경우이다. 다른 예로 참여자들이 같은 과제를 수행하면서 제각기 다른 전략을 쓸 경우를 생각할 수 있다. Jack과 Roepstorff (2002)는 실험 후 구조화된 면접을 통해 회상적 보고(retrospective report)를 체계적으로 수집하고 이를 바탕으로 뇌 영상화 자료를 해석할 것을 제안하고 있다. 문제해결이나 작업기억의 관여와 같은 고급 인지과정들과 뇌 영역들의 활성화 패턴을 사상(mapping)할 때 회상적 보고 결과는 이 과정들을 지원하는 뇌 신경해부구조들과 그 관계를 파악할 때 활용되는 중요한 근거 자료가 될 것이다.

## 다시 뇌, 마음 그리고 행동으로

뇌의 많은 영역의 구조적, 기능적 특징은 ERP, PET, fMRI와 같은 측정방법으로, 마음의 표상구조와 과정은 자극을 제시하고 그에 대한 특정 반응을 측정하는 과제로, 또한 과제를 한 후 참여자들이 수행하는 회상적 보고로, 행동은 전통적인 행동주의에서 나온 자극과 반응의 관계를 다루는 과제로 각기 연구된다. 뇌와 마음, 마음과

행동의 인과관계를 밝히려면 두 가지 이상의 방법을 사용할 수 밖에 없다. 각 방법론이 장점도 있지만, 그 결과의 해석에 제약을 가하는 단점도 있기 때문이다. 예를 들어, 뇌 영상화 방법이나 과제방법으로 전전두엽에서 발생하는 고차 인지 과정의 신경해부적 구조를 구분하기 힘들다. 영상화 연구 결과의 해석에서 과제분석과 두 가지 이상의 방법론을 사용할 필요성을 강조한 이유도 바로 이 때문이다.

뇌의 많은 영역들과 그 관계는 단원성을 나타내는 국재화와 역동성을 나타내는 분산처리로 다루어진다. 마음의 여러 기능은 여러 유형의 표상과 기억구조, 선택이나 활성화와 같은 인지과정, 추단법이나 반응 편중, 맥락에 의한 범주화와 같은 방략으로 분석되거나 모사된다(예, 김청택, 2002를 참고). 행동은 준비성, 연습 빈도, 강도 그리고 기술(skill)로 다루어진다. 현재 뇌수준 중심의 다소 편향된 방법론의 적용 방식에서 벗어나야 한다. 뇌와 마음과 행동을 각 수준의 변수들, 실험 과제 및 방법론을 중심으로 한 연구 내에서 연결하고, 상호보완하며, 그 효과를 시간적으로 공간적으로 해상력 있게 측정하면(신경해부구조적 연결과는 독립적인 기능적이고 효과 있는 연결의 파악), 언제, 어디서 어떤 인지과정들이 어떤 연쇄로 행동에 이르는지가 밝혀질 것이다. 이 경우에 뇌는 물론 마음의 기능적 구조와 과정에 관해 이론적, 경험적 진전을 보게 된다. 뇌 해부구조의 제약은 마음의 한계나 제약과 밀접한 관계가 있고, 후자는 다시 행동의 한계나 제약과 밀접한 관계가 있음이 구체적인 인과적 연쇄망으로, 연결로 명확해진다. 뇌가 병렬적으로 정보를 처리하므로 해부적인 연결성보다 영역들간의 기능적 통합성이 인과적으로 더 중요하다(Ramnan, Lee, Mechelli, Phillips, Roebroek & Formisano, 2002). 마찬가지로 뇌와 마음과 행동의 인과관계를 밝

힐 때 언급된 세 방법론의 기능적 통합성 또는 조합이 중요하다.

뇌 영상화 연구와 인지-행동 연구로 뇌에서 마음의 공간적 위치를 찾는다는 것이 무슨 뜻인가? 공간적인 뇌를 영상화하여 비공간적인 마음의 역동적 기능을 연구한다는 것은 무슨 뜻인가? 데칼트는 이러한 물음에 놀랄 것이다. 공간적인 뇌와 비공간적인 마음을 개념적으로 연결할 수 없기 때문이다. 이 논문에서 개관된 뇌 영상화 연구는 이 난제에 돌파구를 제공한다. 즉 주의, 물체재인, 언어처리 등과 같은 마음의 기능을 담당하는, 약한 의미의 국재화가 있고, 여러 영역들간의 분산된 병렬 정보처리로 물체의 정확한 재인과 그에 대한 행동, 언어의 산출과 이해 행동 등이 가능해진다는 결론이다. 즉 병렬 분산처리야 말로 마음의 비공간적 특성을 구현하는 시스템 수준의 기본 특징이다.

뇌 영역과 인지과정들의 관계로 대표되는 마음이 어떻게 연결되어 있는지를 보여주는 그림이 드러나면서, 영역들간의 느슨하지만 기능적 관계에 관한 깊은 이해와 통찰력이 생기게 된다. 뇌와 마음과 행동의 인과적 연결을 국지적이면서도 좀더 통합적인 시각에서 알면, 영역간의 관계를 바탕으로 무엇이 발생할 것인지 예측할 수 있게 된다. 인지적 적용의 문제가 생기면 종전의 뇌 손상 연구보다 과정적 원인을 더 분명하게 알고 어떻게 해야 할지 그 인지적 재활의 방략을 찾게 된다.

전문가는 물론 일반인들도 그 동안 ‘뇌가 보이지 않아서,’ 또는 ‘잘 돌아가니까’라는 선입견으로 뇌의 구조와 과정을 좀더 깊이 있게 인식하지 못하였다. 사건유발전위나 뇌 영상 측정 연구로 기능적인 인지과정의 신경해부적 구조와 작용이 드러나면 뇌 손상이나 병변 후에야 뇌의 기능에 관심을 주는 경향에서 벗어난다. 정상적인 뇌과

정에 관한 깊은 이해가 뇌에 관한 선입견을 대체할 것이다. 뇌와 마음과 행동의 관계에 관해 구체적이면서도 합리적이고 또한 창의적인 사고가 가능해질 것이다.

### 참고문헌

- 강은주 (2002). PET과 fMRI를 이용한 기억의 기능 해부학 연구 및 임상적 적용. 심포지움: 뇌와 인지. 2002년도 한국심리학회 연차학술발표대회 논문집, 9-15.
- 김민식 (2002). 암묵적 공간표상: 시각적 무시증으로부터의 증거. 심포지움: 뇌와 인지. 2002년도 한국심리학회 연차학술발표대회 논문집, 16-23.
- 김정오, 박민규 (1995). 색깔반복맹과 주의과정. 한국심리학회지: 실험 및 인지, 7, 23-41.
- 김정오, 박민규, 김경용 (1996). 반복색맹에 대한 토른개별화 실패설의 검증. 한국심리학회지: 실험 및 인지, 8, 113-132.
- 김정오 (1998). 주의에 관한 인지신경과학적 접근의 현황과 방법론적 고찰. 심리학의 연구문제, 5, 1-28.
- 김정오 (2001a). 암묵인지와 명료인지: 그 증거와 평가. 2001년도 한국심리학회 추계심포지움: 암묵적 및 명시적 심리 과정-연구와 응용, 1-16.
- 김정오 (2001b). 기억실험: 과제유형 및 과제 분석. 양병환 등 10인 공저. 기억. (151-178). 서울: 하나의학사.
- 김청택 (2002). 잠재의미분석을 사용한 문서 분류. 심포지움: 뇌와 인지. 2002년도 한국심리학회 연차학술발표대회 논문집, 33-38.
- 남기춘 (2002). 인간 언어정보처리에 관련된 대뇌 영역. 심포지움: 뇌와 인지. 2002년도 한국심리학회 연차학술발표대회 논문집, 24-32.
- 박태진. (2001). 기억의 암묵적 인출과 외현적 인출에 관한 선택적 개관. 2001년도 한국심리학회 추계심포지움: 암묵적 및 명시적 심리 과정-연구와 응용, 17-36.
- Albright, T. D., Kandel, E. R., & Posner, M. I. (2000). Cognitive neuroscience. *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 612-624.
- Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 215-222.
- Cahill, L., McGaugh, J. L., & Weinberger, N. M. (2001). The neurobiology of learning and memory: Some reminders to remember. *Trends in Neurosciences*, 24, 578-581.
- Farah, M. J., & Aguirre, G. K. (1999). Imaging visual recognition: PET and fMRI studies of the functional anatomy of human visual recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 179-186.
- Herrman, C. S., & Knight, R. T. (2001) Mechanisms of human attention: event-related potentials and oscillations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25, 465-476.
- Hickok, G. & Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 131-138.
- Jack, A. I., & Roepstorff, A. (2002). Introspection and cognitive brain: from stimulus-response to script-report. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 333-339.
- Kim, J., & Baxter, M. G. (2001). Multiple-brain memory systems: the whole does not equal the sum of its parts. *Trends in Neurosciences*, 24,

- 324-330.
- Kim, S.-G., & Ogawa, S. (2002). Insights into new techniques for high resolution functional MRI. *Current Opinion in Neurobiology*, 12, 607-615.
- Kuperberg, G. R., McGuire, P. K., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Rabe-Hesketh, S., Wright, I. C., Lythgoe, D. J., Williams, S. C. R., & David, A. S. (2000). *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 321-341.
- Luck, S. J., Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 432-440.
- Malach, R., Levy, I., & Hasson, U. (2002). The topography of high-order human object areas. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 176-184.
- Menon, R. S., & Kim, S. (1999). Spatial and temporal limits in cognitive neuro-imaging with fMRI. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 207-216.
- Ni, W., Constable, R. T., Mencl, W. E., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., & Gore, J. C. (2000). An event-related neuroimaging study distinguishing form and content in sentence processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 120-133.
- Penny, W. D., Kiebel, S. J., Kilner, J. M., & Rugg, M. D. (2002). Event-related brain dynamics. *Trends in Neurosciences*, 25, 387-389.
- Ramnam, N., Lee, L., Mechelli, A., Phillips, C., Roebroeck, A., & Formisano, E. (2002). Exploring brain connectivity: a new frontier in systems neuroscience. *Trends in Neurosciences*, 25, 496-497.
- Riesenhuber, M., & Poggio, T. (2002). Neural mechanisms of object recognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 12, 162-168.
- Uttal, W. R. (2001). *The new phrenology: The limits of localizing cognitive processes in the brain*. Cambridge, MA: MIT Press.

## Brain, Mind, and Behavior

Jung-Oh Kim

Department of Psychology

Based on the conceptual frameworks regarding the relationship between brain, mind and behavior, current studies of event related potentials and brain imaging are selectively reviewed. Evidence for clear localizations of cognitive functions in the brain is lacking, where as evidence for distributed processing emerges, especially as integrative models. Criticisms on brain imaging techniques are reviewed and several empirical works are examined with an eye to the notion of task analysis. Finally, an emphasis is placed upon convergence of various methodologies, that is, brain imaging, retrospective reports, and cognitive-behavioral experimentations.

**Key Words** brain and mind, localization, MRI, ERP

원고 접수 : 2002. 11. 25.

최종게재결정 : 2002. 12. 10.