

생명현상에 대한 과학적 관찰에서 나타나는 과학 교사들의 두뇌 활성화 및 기능적 연결

이준기 · 변정호 · 권용주*

한국교원대학교

Science Teachers' Brain activation and functional connectivity during scientific observation on the biological phenomena

Lee, Jun-Ki · Byeon, Jung-Ho · Kwon, Yong-Ju*

Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study was to investigate secondary science teachers' brain activation and functional connectivity during scientific observation on the biological phenomena. Twenty six right-handed healthy science teachers volunteered to be in the present study. To investigate science teachers' brain activities during the tasks, 3.0T fMRI system with block design was used to measure BOLD signals in their brains. The SPM2 software package was applied to analyze the acquired initial image data from the fMRI system. The results have shown that the left inferior frontal gyrus, the bilateral superior parietal lobule, the left inferior parietal lobule, the left precuneus, the left superior occipital gyrus, the right middle occipital gyrus, the right precuneus, the left inferior occipital gyrus and bilateral fusiform gyrus were significantly activated during participants' scientific observation. The network model consisted of eleven nodes (ROIs) and its ten connections. These results suggested the notion that scientific observation needs a connective cooperation among several brain regions associated with observing over just a sensory receiving process.

Key words: Science teacher, scientific observation; brain activation; Functional connectivity, fMRI.

I. 서론

과학적 관찰은 관찰자가 감각기관을 통해 자연현상에 대한 정보를 인식하여 작업 기억으로 수집하는 체계적인 인지활동을 의미한다(권용주 등, 2005; Hanson, 1961). 과학교육에서 관찰은 과학지식 생성 과정이 시작되도록 하는 초기정보를 제공하는 진입관문의 역할을 한다. 이러한 과학적 관찰은 이후의 다른 탐구단계에 많은 영향을 줄 수 있으며, 과학탐구의 초반뿐만 아니라 중반 및 후반부에도 계속해서 사용되는 탐구기능으로 과학지식 생성과정 전반에서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다(권용주 등, 2005; Hanson, 1961).

과학적 관찰에 대한 선행연구들을 살펴보면, 과학적 관찰과 선개념의 변화를 다룬 연구들(박종원과 김익균, 1999; Hanson, 1961; Hodson, 1986)외에, 최근에는 문헌연구 등을 통한 탐구과정 내에서의 위치

제시, 면담법을 통한 사고과정 모형 도출, 발생사고법에 의한 사고과정 모형 제시, 관찰법과 활동지 분석을 통한 유형분석 및 평가 방안 등이 보고되어 왔다(권용주 등, 2005, 2007). 그러나 이 방법들은 모두가 피험자의 행동적 반응에만 의존하는 간접적인 방법이기에 때문에 피험자의 두뇌에서 일어나는 실재적인 현상을 기술해내는 데 많은 한계를 가지고 있다(신동훈과 권용주, 2007; Ansari & Coch, 2006). 따라서 우리의 두뇌 속에서 뇌 세포들의 생리화적인 반응들에 의해서 '과학적 관찰'을 수행함에도 불구하고 그것이 실제로 두뇌 안에서 어떤 영역을 통해 나타나게 되는지에 대해서는 여전히 의문점이 남아있다(Milner, 1963; Rosenweig *et al.*, 2005). 하지만 기능성자기공명영상장치(Functional magnetic resonance imaging; fMRI)는 뇌의 구조뿐만 아니라 기능에 대한 3차원적 영상을 구성할 수 있게 해주며, 공간 해상도도 매우 뛰어나서 뇌의 활동에 대한 작은 구조적 및

*교신저자: 권용주(kwonyj@knue.ac.kr)

**2009.07.07(접수) 2009.09.03(1심통과) 2009.09.08(최종통과)

***이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0053595).

기능적 변화도 탐지할 수 있게 해준다. 그리고 비침습적(non-invasive) 기술이기 때문에 매우 안전하여 환자에 대한 의학적 연구뿐만 아니라 과학교육과 관련된 인지적 연구에도 활용될 수 있다(Rosenweig et al., 2005).

두뇌의 기능에 대한 분석 이론에는 크게 기능 분리(functional segregation)이론과 기능 통합(functional integration)이론의 두 가지가 있다(Tononi et al., 1998). 특정 기능을 수행하는 두뇌 영역은 따로 존재하며 그 지역을 파악하는 연구를 기능 분리(functional segregation)이론이라 한다. 반대로 아주 간단한 기능일지라도 뇌의 많은 영역들이 병합되어 일어나는 것으로 보고 이들 간의 연결을 연구하는 것을 기능의 통합(functional integration)이론이라고 한다(Passingham et al., 2002). 연구 분야에 따라 적절한 분석 방법을 사용하지만, 두뇌의 특정 영역에만 관심을 두는 기능 분리 분석만으로는 고등인지와 같은 복잡한 수준의 두뇌 활동에서 활성화 지역들 간의 정보 교류(신경학적 회로 연결)에 대한 정보를 얻을 수가 없다. 이에 기능적으로 특화된 지역들 간의 통합에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Marrelec et al., 2008). 기능의 통합에 관한 연구는 두뇌 수준에서 지역들 간의 연결(brain connectivity)을 연구한다. 이들 두뇌연결(brain connectivity)에 관한 연구는 크게 3가지로 나누어 볼 수 있는데, 구조연결(anatomical connectivity), 기능연결(functional connectivity) 그리고 인과연결(effective connectivity ≡ causal modeling)이 있다(Horwitz, 2003). 두뇌 네트워크 이론 중 특히 기능연결은 물리적으로 떨어진 두뇌 영역들에서 신경생리적 활성간의 시간적 상관관계(Friston et al., 1993)로 정의 된다. 즉 특정 사고 과정에 활성화된 영역들 간에 얼마만큼의 상관관계를 갖는지를 확인하는 것이다. 기능연결 이론은 지금까지 설명되어 왔던 두뇌 활성화 지역 상호간 어떠한 정보의 교류도 없다는 이론을 반박하고 있다. 기능연결은 두 지역의 유사한 반응이나 통계적 상호의존성을 통하여 설명된다(Lee et al., 2003).

최근 과학교육분야에서도 과학적 사고나 감성에 관한 신경생리학적 의미를 찾기 위해 fMRI를 사용한 연구들이 일부 보고 되고 있다. 과학적 관찰에 대해서는 권용주 등(2006)이 생명현상을 관찰할 때와 명화를

관찰할 때 나타나는 두뇌 반응의 차이를 fMRI를 통해 밝힌 바 있다. 그들은 이 연구에서 해마옆이랑과 전두엽 활성화의 중요성을 보고하고 과학적 관찰이 단지 보는 것에 그치는 활동이 아님을 주장하였다. 또한 Lee et al.(2008)은 일상생활 속에서 학생들이 흔히 접하는 놀이인 숨은그림찾기와 과학적 관찰의 차이를 fMRI를 통해 규명하였다. 이 연구에서 연구자들은 숨은그림찾기는 하향식 주의(top-down attention; goal-controlled search)를 필요로 하고 때문에 두정엽의 중심뒤이랑(BA 40)활성이 매우 우수한 반면, 과학적 관찰은 상향식 주의(bottom-up attention; expectation-controlled search)를 요하기 때문에 하전두이랑의 활성이 강함을 보고 한 바 있다. 한편 국외의 연구로는 과학적 관찰 자체에 대한 연구는 없으나 이와 관련이 많은 감각에 의한 사물이나 현상인식의 연구는 있어왔는데, 시지각(Ganis et al., 2004; Schultz et al., 2007), 청지각(Seung et al., 2005), 미지각(Castriota-Scanderbeg et al., 2005) 혹은 촉지각(James et al., 2006; Reed et al., 2004) 등에 의한 표상연구가 보고된 바 있다. 다만 기능성자기공명영상장치의 특성상 시각연구가 주류를 이루고 있다. Schultz et al.(2007)은 시각적 물체 인식에서의 후두-두정 경로와 후두-측두 경로 그리고 이에 대한 전두엽의 활성화 동조에 대하여 보고하였다. 또한 Ganis et al.(2004)은 두뇌 안에 상상을 통한 내적심상(mental imagery)형성과 실제의 시지각 과정에서의 두뇌 활성화차이를 비교하여 이들이 매우 유사함을 확인하였다. 이 과정에서 해마옆이랑이 내적심상형성에 매우 중요한 역할을 함을 보고하였다. 그러나 이러한 연구들은 모두 해당과제를 수행하는 동안의 두뇌활성 영역을 귀납적으로 보고한 맵핑(mapping) 연구 수준에 그치고 있고 연구의 내용이 과학교육과 거리가 있는 것이 사실이다.

그러므로 이 연구의 목적은 과학교사들이 생명현상에 대한 관찰을 수행할 때의 기본 두뇌 활성화 양상을 fMRI를 이용하여 규명하는 것이다. 이를 통해 탐구의 시작이라 할 수 있는 관찰과정에 대한 두뇌 수준의 1차 정보(Ansari & Coch, 2006)를 획득할 수 있을 것이다. 더 나아가 이 연구에서는 고등사고에 대한 신경수준의 시스템 분석방법인 기능적 연결 분석(functional connectivity analysis)의 활용을 통해 생명현상에 대한 관찰의 두뇌수준 네트워크 구조에

대해서도 알아보고자 하였다.

II. 연구방법 및 절차

1. 연구 대상자

이 연구의 수행을 위해서는 과학적 관찰을 수행할 수 있고 자기공명영상장치(fMRI) 측정 방식에 부합하는 건강한 연구대상이 요구되었다. 이러한 연구 목적에 따라 과학적 관찰에 대한 경험이 풍부하고 실제로 효과적으로 수행할 수 있다고 판단되는 26명의 과학교사들(평균 연령 = 27.57 ± 3.72 , 남성 12명, 여성 14명)을 연구 대상으로 선발하였다. 특히 두뇌영상 자료 분석의 변인을 최소화하기 위해서 오른손잡이인 피험자만을 선발하였다. 선발된 피험자들은 정신과 치료, 폐쇄 공포증, 약물 복용, 체내 금속 물질 등의 이상이 없는 이들이고, 연구자와 한국과학기술원 fMRI 연구소에서 제시한 연구 참여 동의서에 서명하였다.

2. 기능성 자기공명영상 측정과제 개발

이 연구에서는 생명현상에 대한 과학적 관찰 과정에서의 두뇌활성 양상과 기능적 연결 네트워크를 조사하기 위하여 9개의 과제를 개발하였다. 과제는 생물교육 박사학위를 소지한 전문가 4인과 현직 생물교사 6인과의 정기적인 세미나 및 워크숍을 통해 R & D 방식으로 40개 과제를 개발한 후, fMRI 측정전문가의 과제적합성 평가에서 문제가 제기된 과제를 제외한 30개 과제를 선정하였다. 과제의 범주는 생명현상 전반을 고루 다루기 위하여 대상 면에서는 동물, 식물, 미생물 영역을 다루었고, 수준면에서는 개체이하, 개체, 개체이상의 수준으로 선정하였다.

과제에 사용된 사진자료에 대해 연구자들은 fMRI 측정에 참여하지 않는 연령과 성별이 같은 일반인 집단에 1차 선정된 과제를 투입하여 반응을 살핀 후 과제의 타당성을 검증하였다. 이 과정에서 즉각적으로 의문을 유발하거나, 너무 혐오스러워 거부 반응을 일으키는 등 중립적인 상태에서의 올바른 관찰이 일어날 수 없는 자료들을 제거 하였다. 또한 최종 선정된 18개 과제 중, 본 측정에 사용하지 않는 동수(9개)의 예비과제를 선정하여 피험자들이 사전에 과제에 익숙해지도록 하였다. 보다 자세한 최종과제의 내용영역

과 범주는 표 1.에 제시하였다.

표 1
기능성 자기공명 영상 측정을 위한 과학적 관찰 본 과제

수준 \ 대상	동물	식물	미생물
개체이하	1	1	1
개체	1	1	1
개체이상	1	1	1
계	3	3	3

3. 실험 설계

생명현상에 대한 과학적 관찰 과정에서의 두뇌활성 양상과 기능적 연결 네트워크를 조사하기 위하여, 블록 디자인(block design) 방법을 사용하여 실험을 설계하였다(유승식, 2001). 측정과제는 크게 피험자의 목표사과 내용(‘관찰’)을 텍스트로 알려주는 과제명(notice slide) 블록과 피험자가 무엇을 할지 알려주는 지시문(message slide) 블록, 본 과제(main task) 블록, 그리고 기저조건(baseline; 여기서는 fix로 명시)으로 구성하였다. 전체적인 실험설계와 각 과제의 예시는 [그림 1]과 같다.

4. 자료 수집

피험자들의 두뇌 활성 상태를 측정하기 위해서 한국과학기술원 fMRI 연구동 내에 있는 3.0T MRI scanner (ISOL Tech., Korea)를 사용하였다. 자기공명영상 결과의 수집은 Gradient Echoplanar Imaging (EPI) sequence를 사용하였으며, 반복시간(repeated time; TR)은 3000ms, 에코시간(echo time; TE)은 35ms로 하였다. 또한 이미지 매트릭스는 64×64 , 영상범위(FOV)는 220mm^2 , 영상절편의 두께는 5mm, 절편의 수는 30장으로 하였다. 기능성 자기공명 영상의 촬영 전에 T1 MR 영상이 시상면(sagittal plane)으로 촬영되었고, 이로부터 전교련에서 후교련(AC-PC; anterior commissure-posterior commissure)에 평행하게 절편의 위치를 정하되 아래에서부터 여섯 번째 절편에 AC-PC 평면을 통과하도록 절편의 위치를 조절하였다. 이러한 위치에서 먼저 T1 해부학적 영상이 촬영되고 이어서 과

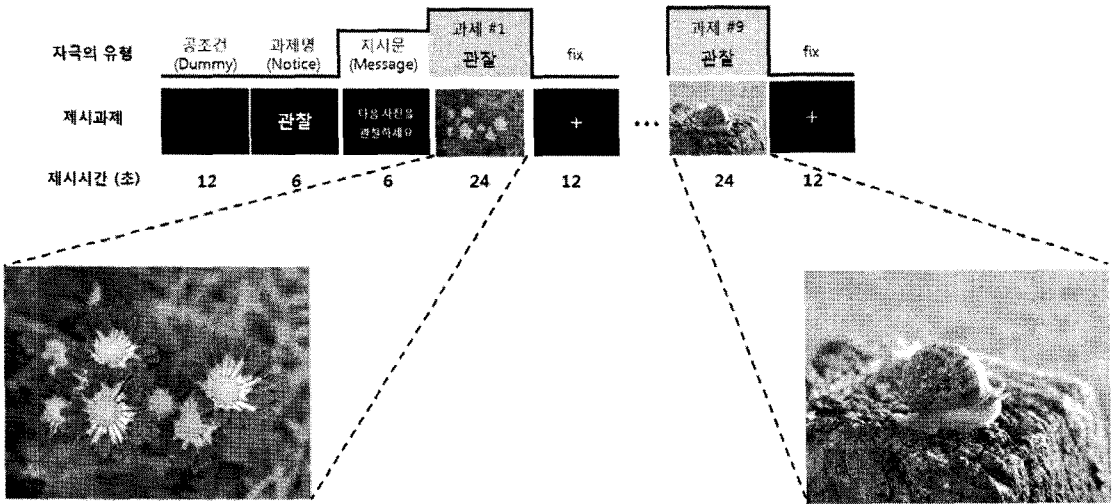


그림 1 fMRI 실험 설계와 과제의 예

제의 시작과 동시에 EPI 방식으로 기능영상이 위의 변수들을 통하여 촬영되었다.

5. 자료 분석

이렇게 수집된 결과는 MATLAB 6.5 프로그램 환경에서 구현되는 SPM2 (Statistical Parametric Mapping, version 2) 소프트웨어를 사용하여 처리하였다. SPM2를 통해 머리의 움직임에 대한 잡음을 보정하기 위한 정합보정(realignment)절차가 각 피험자의 개인 데이터 분석에 적용되었으며, 이러한 절차의 부산물로 생성된 평균 영상에 각각 피험자의 T1 MRI 영상이 정합(coregister) 되었다. 이어서 자신의 EPI 영상과 정합된 T1 영상을 SPM2에서 제공하는 T1 template에 공간적 표준화(normalize)를 하였다. 그런 후, 여기서 산출되는 공간표준화 변수(normalization parameter)를 동일한 피험자로부터 얻어진 모든 EPI 영상에 적용하여 모든 T2*weighted EPI 영상을 다시 표준공간으로 표준화하여 재표집하였다. 표준화된 영상은 이어서 8mm의 FWHM을 갖는 Gaussian Kernel filter를 중첩적분 적용하여 편평화(smooth)하였다. 이후 각각의 피험자 마다, 위에서 처리된 두뇌부피영상의 구성단위인 부피소별 BOLD (blood oxygen level dependent) 신호의 변화는 실험조건, 그리고 기저조건으로 나누어 각각의 scan에서 비교하였다. 이렇게 구성된 모델과 영상들의 처리

된 결과는 상관관계를 이용하여 분석하였다.

각 피험자별로 위와 같은 대조조건을 가진 영상을 얻은 다음 피험자 간 집단 분석을 실시하였다. 집단분석에서는 개인차를 무선변수로 고려한 무선효과분석(random-effect analysis)을 사용하였다. 통계 처리는 SPM basic model의 단일표본 T-검증(one sample T-test)을 사용하여 통계처리를 하였다. 결과 영상의 산출은 fMRI 영상지도 연구에서 적용되는 다중비교(multiple comparison) 유의 수준 P값을 보정된 0.05로 적용하였고(FWE corrected, $p < 0.05$), 범위역치(extent threshold) 값인 k 는 적용하지 않았다. 이렇게 얻어진 활성화된 두뇌 영역의 MNI (Montreal Neurology Institute) 좌표를 Talairach 좌표(Talairach & Tournoux, 1988)로 변환하여 구체적인 두뇌의 활성 부위를 산출하였다.

또한 이 연구에서는 순수한 목표사고만의 두뇌활성을 획득하기 위해 인지적 감산법(cognitive subtraction)을 사용하였다. 과학적 관찰이라는 목표 사고 이외의 두뇌활성(예를 들어 단순한 화면응시 혹은 호흡과 같은 생명유지 활동)을 제거하기 위하여 각 사고의 분석 contrast에서 연구 패러다임 내에 설정된 기저조건을 제거하여 주었다(Amaro & Barker, 2006). 또한 기능연결분석을 활용한 두뇌활성 네트워크의 규명은 먼저 위의 방법을 통하여 과학적 관찰 과정에서 나타나는 주요 활성 영역을 파악한 후, 각 활성 영역들의 시간에 따른 혈액산소포화도(BOLD;

Blood oxygen level-dependent) 값을 추출하여 이들 BOLD 값 간의 상관관계를 분석하였다. 그런 다음 상관 분석에서 통계적으로 유의미하게 나타난 영역들과 그들 사이의 연결을 과학적 관찰과정에서 기능적 연결(functional connectivity)을 이루는 네트워크로 추출하였다(Koshino *et al.*, 2005).

III. 연구 결과 및 논의

1. 생명현상에 대한 관찰과제 수행에 대한 임상면담 결과

fMRI 스캐닝이 종료되고 나서 피험자들과 그들이 측정과정에서 수행한 과제를 다시 되짚어 보며 회상적 면담을 수행하였다. 이러한 선별 과정을 통해 연구자는 피험자들이 두뇌 스캐닝 과정에서 연구목적에 합당한 실제의 목표사고를 수행하였는지 선별하였다. fMRI 측정이 완료된 후 이루어진 이러한 심층 면담에서 연구에 참여한 피험자 모두가 제시자극을 보면서 자연스럽게 제시된 과학적 관찰을 실시했다고 응답했다. 이후에 이들 모두를 기능성 자기공명영상 분석을 위한 유효 피험자 및 유효 자료로 인정하였다.

2. fMRI 측정에서 나타난 두뇌활성 결과

가. 생명현상에 대한 관찰과정에서 나타나는 두뇌활성 양상

생명현상에 대한 과학적 관찰과정에서 나타나는 두뇌활성은 크게 나누어 대뇌피질(Cerebral cortex), 변연계 및 엽하영역(Limbic and sub-lobar regions), 그리고 소뇌(Cerebellum)로부터 나타났다. 전두엽에서는 좌측 상전두이랑, 중전두이랑, 중심전두이랑, 하전두이랑의 활성이 나타났다. 두정엽에서는 양측 상두정소엽, 좌측 하두정소엽, 좌측 뺨기전소엽의 활성이 나타났다. 측두엽의 경우, 우측 중측두이랑과 양측 방추이랑의 활성이 보였다. 후두엽에서의 활성은 좌측 상후두이랑, 양측 중후두이랑, 좌측 하후두이랑, 우측 혀이랑, 양측 방추이랑, 양측 뺨기소엽에서 발견되었다. 대뇌의 내측영역인 변연계와 엽하영역에서의 활성도 나타났는데, 우측 해마옆이랑과 좌측 조가비핵의 활성이 그것이다. 마지막으로 대뇌 이외에도 양측 소뇌비탈의 활성이 함께 나타났다(그림 2).

인간이 사물이나 현상을 인식하는 과정에서는 특성에 대한 정보와 공간적 위치에 대한 정보가 합쳐져야

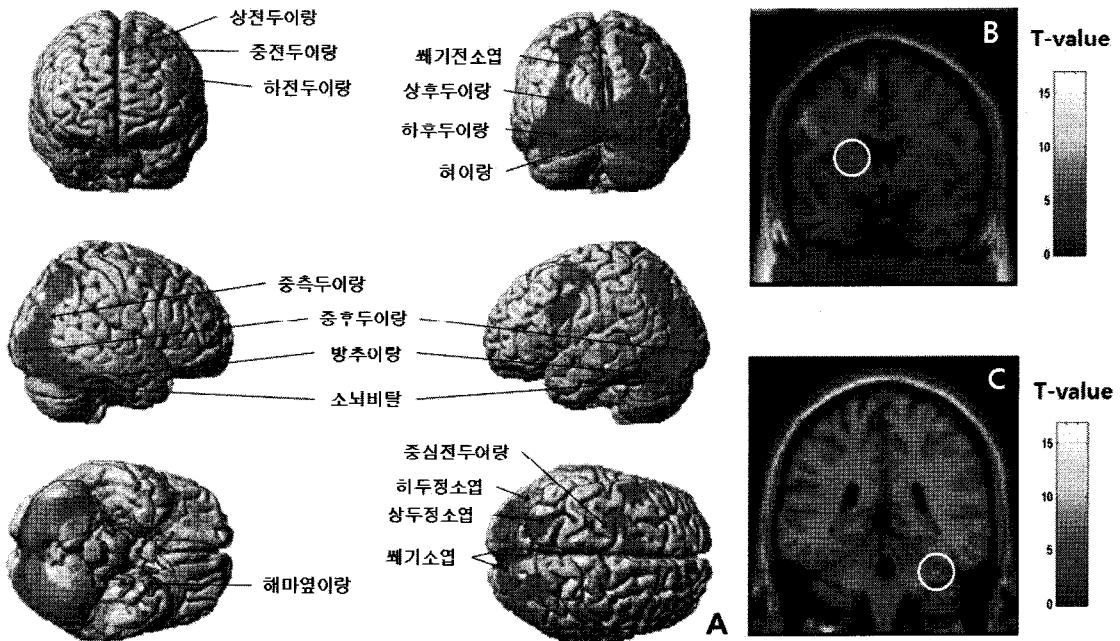


그림 2 생명현상에 대한 관찰과정에서 나타나는 두뇌활성 양상 ($n = 26$, one sample t -test, $p < 0.05$, FWE corrected, A: 두뇌활성 렌더링 맵, B: 조가비핵 섹션 이미지, C: 해마옆이랑 섹션 이미지)

만 온전한 정보로 인식될 수 있다(Schultz *et al.*, 2007). 때문에 시각적 인식의 과정에서는 두 가지의 큰 흐름인 ventral stream과 dorsal stream 이 존재하며 이들은 각기 'what pathway'와 'where pathway'로 보고되고 있다(Poirier *et al.*, 2006). 과학적 관찰에서는 사물의 모양이나 색깔과 같은 특성 뿐 아니라 다른 사물과의 거리나 배경으로부터 어떻게 위치하고 있는지에 대한 공간정보도 매우 중요한 요소이다. 특히 생명현상에 대한 관찰을 수행할 경우는 다른 영역의 관찰보다 이에 대한 정보의 수집·통합이 중요하다. 예를 들어 나무위에 앉은 새를 관찰할 때, 그 새의 색깔과 체구 혹은 부리 모양 등과 같은 개체 자체의 특성정보도 중요하지만 서식환경이 어느 곳(나무 꼭대기, 나무 중간, 혹은 나무 밑 등)인지도 무시할 수 없는 정보로 작용한다. 관찰자가 자신 앞에 당면한 사물이나 현상에 대해 올바른 관찰을 수행하려면 이들 두 활성화의 협응이 매우 중요하다. 이 연구에서도 후두엽과 함께 측두엽의 활성화뿐만 아니라 두정엽의 활성화도 함께 나타나 이들 두 회로가 함께 활성화 되고 있음을 확인하였다(그림 2A, 표 3).

한편 변연엽에서는 해마옆이랑의 활성화가 나타났는데(그림 2C, 표 3) 해마옆이랑은 일명 PPA(parahippocampal place area)로도 불리며, 대상들 간의 관련성이 없을 때보다 있을 때 잘 나타나고(Bar & Aminoff, 2003), 다른 정보보다도 특히 대상의 위치에 대한 정보를 다른 정보들과 연합하여 부호화 하는데 1차적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Sommer *et al.*, 2005). 이는 해마옆이랑이 감각(이 연구에서는 시각)으로부터 들어오는 정보들의 관계에 대한 맥락적 연합을 조율하고 있음을 의미한다(Yue *et al.*, 2007). 특히, 상두정소엽 및 후두엽이 회로로써 함께 작용하는 것이 밝혀져 있다(Sommer *et al.*, 2005). 즉, 중측두이랑과 해마옆이랑의 활성화에 의해 통합된 1차 감각정보는 내적 심상(mental imagery)의 형태로 두정엽의 시공간적 작업기억(visuo-spatial working memory)에 투사되어(Ganis *et al.*, 2004) 전두-두정 회로(fronto-parietal pathway)를 통해 전두엽으로 전달되게 되며 이를 통해 비로소 관찰자는 자신이 관찰사실을 얻었다고 의식수준에서 인식하게 되는 것이다.

이 연구의 결과에서도 전전두피질부의 활성화가 나타났는데 이들은 사고과정에서의 주의(attention)를 유

지시켜주면서 전달받은 정보의 유지(maintain) 및 조작(manipulation)에 관여한다(Caveza & Nyberg, 2000). 특히 하전두이랑은 배외측 전두연합피질부(VLPFC; ventrolateral prefrontal cortex)에 속하는 영역으로 회로를 통해 전달받은 정보의 유지에 중요한 역할을 하면서 상전두이랑과 중전두이랑으로 이루어진 복외측 전두연합피질부(DLPFC; dorsal prefrontal cortex)로 전해져서 2차적 통합이나 조작에 사용된다(Green *et al.*, 2006).

변연엽 중 또 하나의 활성화 영역은 좌측 조가비핵(그림 2B, 표 3)인데, 선조체(striatum)로도 불리며 보상계 회로(reward system circuit)의 한 부분이다. 이 영역은 전두엽과의 투사(projection)회로를 이루고 있으며, 뇌 안에서 도파민 수용체(dopamine receptor)가 밀집되어있는 지역이다(Delgado *et al.*, 2005). 조가비핵의 활성화는 다른 선조체 지역과 함께 주로 중독(addiction)에 관련된 연구에서 많이 알려져 있다. 피험자가 이 영역의 강한 활성을 나타냈다는 것은 과제의 수행 과정에서 행복감 혹은 즐거움을 느꼈다는 것을 의미한다(Schaefer *et al.*, 2003). 선조체 영역의 활성화는 인간의 사고와 행동에 있어 매우 중요한 위치를 차지하고 있는데, 이는 도파민 대사를 통한 개별 행동에 대한 보상뿐 아니라 그 행동을 다음번에도 할지 말지에 대한 동기부여가 동시에 이루어지게 되기 때문이다(McClure *et al.*, 2003). 이 연구에서는 관찰 지식을 직접 생성해 내는 과정을 통해서 피험자들이 즐거움을 느끼고 있는 것으로 볼 수 있다. 이 영역의 활성화는 외부에서 주어지는 지식이나 정보를 수동적으로 수용하기만 할 때는 나타나지 않는 것으로도 알려져 있다(Lee, 2009).

나. 생명현상에 대한 관찰과정에서 나타나는 두뇌의 기능적 연결 네트워크

생명현상에 대한 과학적 관찰과정에서 나타난 다양한 두뇌활성 영역들 간의 상관도를 알아 본 결과, 좌측 하전두이랑(inferior frontal gyrus), 양측 상두정소엽(superior parietal lobule), 좌측 하두정소엽(inferior parietal lobule), 좌측 췌기전소엽(precuneus), 좌측 상후두이랑(superior occipital gyrus), 우측 중후두이랑(middle occipital gyrus), 우측 췌기소엽(cuneus), 좌측 하후두이랑(inferior occipital gyrus), 양측 방추이랑(fusiform gyrus)이

표 3
생명현상에 대한 관찰 과정에서 나타나는 두뇌활성화 영역

두뇌 활성화 영역	브로드만 영역(BA) 및 반구	좌표 및 활성화 수준			
		X	Y	Z	Z-score
대뇌					
전두엽 (Frontal lobe)					
중전두이랑 (Middle frontal gyrus)	6 L	-26	-1	50	6.1
상전두이랑 (Superior frontal gyrus)	6 L	-8	10	49	6.06
중심전두이랑 (Precentral gyrus)	6 L	-53	4	35	5.74
하전두이랑 (Inferior frontal gyrus)	9 L	-48	11	25	5.68
두정엽 (Parietal lobe)					
상두정소엽 (Superior parietal lobule)					
	7 L	-24	-62	44	7.34
	7 R	28	-64	44	6.1
뺨기전소엽 (Precuneus)					
	7 L	24	-57	54	5.93
	19 L	28	-70	35	5.39
하두정소엽 (Inferior parietal lobule)	40 L	-40	-35	40	4.7
후두엽 (Occipital lobe)					
중후두이랑 (Middle occipital gyrus)					
	19 R	34	-85	6	7.4
	19 L	-34	-81	11	6.89
	18 L	-26	-91	12	6.08
	37 L	-50	-66	-5	5.57
방추이랑 (Fusiform gyrus)					
	19 R	28	-74	-10	6.71
	19 L	-28	-78	-13	5.98
뺨기소엽 (Cuneus)					
	17 R	16	-91	5	7.84
	17 L	-20	-93	3	7.36
상후두이랑 (Superior occipital gyrus)					
	39 L	-30	-74	28	5.82
하후두이랑 (Inferior occipital gyrus)					
	18 L	-34	-80	-4	7.75
혀이랑 (Lingual gyrus)					
	18 R	2	-83	1	7.73
측두엽 (Temporal lobe)					
중측두이랑 (Middle temporal gyrus)					
	19 R	34	-80	24	5.78
방추이랑 (Fusiform gyrus)					
	37 L	-44	-63	-7	5.7
	37 R	44	-47	-14	4.76
변연엽 및 엽하영역 (Limbic Lobe and Sub-lobar)					
해마옆이랑 (Parahippocampal gyrus)					
	36 R	36	-38	-25	5.04
조가비핵 (Putamen)					
	L	-20	4	11	4.89
소뇌 (Cerebellum)					
Declive(소뇌비탈)					
	R	34	-57	-16	6.37
	L	-46	-59	-21	5.66

BA: Brodmann area, L: 좌반구, R: 우반구, n = 26, $p < 0.05$, FWE corrected

네트워크를 이루는 핵심영역으로 나타났다. 이들 11개 지역들이 과학적 관찰 과정 동안 서로 기능적인 연결(functional connectivity)을 이루며 10개의 유의미한 연결을 갖는 네트워크를 형성하는 것을 확인하였다.

과학적 관찰 과정에서 기능적으로 함께 활성화 되는 11개의 네트워크 연결쌍을 차례로 살펴보면, 좌측 하전두이랑(inferior frontal gyrus)은 좌측 췌기전소엽(precuneus)($r = 0.53$) 및 우측 상두정소엽(superior parietal lobule)($r = 0.75$)과 기능적 연결이 형성되었고, 좌측 상두정소엽(superior parietal lobule)은 좌측 하두정소엽(inferior parietal lobule)($r = 0.52$) 및 우측 상두정소엽(superior parietal lobule)($r = 0.61$)과 기능적 연결이 형성되었다. 좌측 췌기전소엽(precuneus)은 좌측 상후두이랑(superior occipital gyrus)($r = 0.52$)과 기능적 연결을 형성하고 있었다. 좌측 하후두이랑(inferior occipital gyrus)은 좌측 상후두이랑(superior occipital gyrus)($r = 0.42$) 및 좌측 방추이랑(fusiform gyrus)($r = 0.51$)과 기능적 연결을 나타내었다. 우측 중후두이랑(middle occipital gyrus)은 우측 췌기소엽(cuneus)($r = 0.42$) 및 우측 방추이랑(fusiform gyrus)($r = 0.61$)과 연결이 형성되었고, 좌측 방추이랑(fusiform gyrus)과 우측 방추이랑(fusiform gyrus)사이($r = 0.52$)에도 유의미한 기능적 연결이 형성되었다(그림 3).

생명현상에 대한 과학적 관찰 과정에서 나타나는 전체 활성화 영역 중에서도 사고과정 중 의미 있는 동조를 통하여 네트워크가 형성되는 것은 일부 영역들이었다. 특히 단순히 영역차원에서만 보면, 복외측전전두피질부와 배외측전전두피질부의 활성화가 모두 나타나지만 실제로 다른 영역들과 함께 활성화 되면서 회로를 형성하는 것은 복외측전전두피질부에 해당하는 하전두이랑 뿐이었다(그림 3). 이는 통합하여 표상된 정보의 조작이나 변형보다는 유지, 수용이 관찰사실 획득의 기본 기능이기 때문인 것으로 판단된다. 하전두이랑은 좌측 췌기소엽 및 우측 상두정소엽과 의미 있는 연결을 형성하면서 기능성 네트워크를 보였는데 이는 선행연구로부터 잘 알려진 전두-두정회로(fronto-parietal pathway)이다(Caveza & Nyberg, 2000; Tsukiura et al., 2001).

특히 방추이랑과 두정부 모두가 후두엽과 유의미한

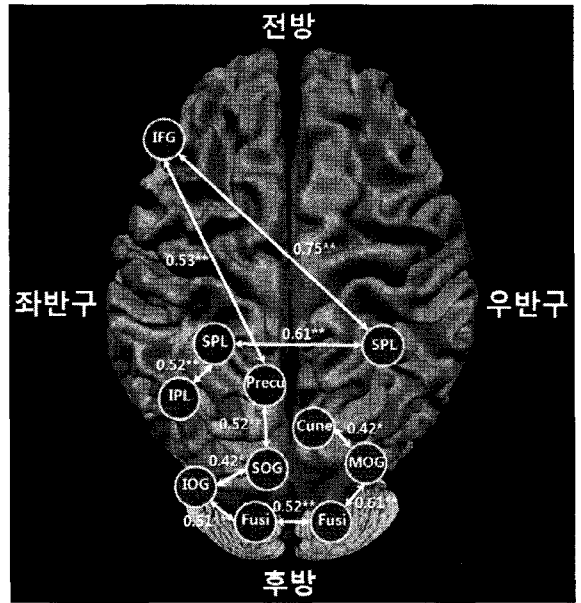


그림 3 생명현상에 대한 관찰 과정에서 나타나는 두뇌의 기능적 연결 네트워크 (네트워크 연결선 위의 수는 활성화 영역 간 상관계수, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, IFG; inferior frontal gyrus, SPL; superior parietal lobule, IPL; inferior parietal lobule, Precu; Precuneus, SOG; superior occipital gyrus, MOG; middle occipital gyrus, IOG; inferior occipital gyrus, Fusi; fusiform gyrus).

기능성 동조회로를 보임으로써(그림 3) 관찰사실의 인식에 있어서 dorsal stream과 ventral stream이 함께 작용함을 확인할 수 있었다. 다시 말해 '무엇 회로(what pathway)'와 '어디 회로(where pathway)'의 공조에 의해 사물이나 현상에 대한 관찰이 이루어진다고 할 수 있다.

전체적인 회로의 구조에 있어서 후두엽의 시각피질과 두정엽의 시공간적 작업기억 관련 영역만이 아닌 전전두피질부의 연동회로가 기능적으로 함께 나타나는 것으로 보아 철학적인 연구들(Hanson, 1961; Kitchener, 1999)에서 언급하고 있듯이 과학적 관찰은 단지 보는 것(just seeing) 혹은 단지 감각정보를 일방적으로 수용하는 것 이상의 것임을 알 수 있다.

IV. 결론 및 교육적 적용

지금까지 생명현상에 대한 과학적 관찰 과정에서 나타나는 두뇌활성 양상과 그들의 기능적 연결 네트워크를 fMRI를 이용하여 알아보았다. 이 연구의 결과

를 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

첫째, 생명현상에 대한 과학적 관찰과정에서는 좌측 상전두이랑, 중전두이랑, 중심전두이랑, 하전두이랑, 양측 상두정소엽, 좌측 하두정소엽, 좌측 뺨기전소엽, 우측 중측두이랑, 양측 방추이랑, 좌측 상후두이랑, 양측 중후두이랑, 좌측 하후두이랑, 우측 혀이랑, 양측 방추이랑, 양측 뺨기소엽, 우측 해마옆이랑, 좌측 조가비핵 그리고 양측 소뇌비탈의 활성이 나타났다.

특히 좌측 전전두피질부와 해마옆이랑은 감각정보들의 연합과 내적심상의 표상에 핵심적 역할을 하는 곳으로 과학적 관찰에서 관찰사실 획득의 중요한 역할을 담당한다. 따라서 관찰자가 지식을 얻는 것은 좌측 중측두이랑과 해마옆이랑의 활성에 의해 통합된 1차 감각정보를 내적심상 형태로 두정엽의 시공간적 작업 기억에 단기저장하고 이를 전두-두정 회로를 통해 전두엽으로 전달하여 비로소 자신이 관찰사실을 얻었음을 의식수준에서 알게 된다고 할 수 있다.

둘째, 과학적 관찰과정에서는 좌측 하전두이랑, 양측 상두정소엽, 좌측 하두정소엽, 좌측 뺨기전소엽, 좌측 상후두이랑, 우측 중후두이랑, 우측 뺨기소엽, 좌측 하후두이랑, 양측 방추이랑의 11개 지역들이 서로 기능적인 연결을 이루며 10개의 유의미한 연결을 갖는 네트워크를 이루는 것으로 나타났다. 특히 이들의 회로 패턴은 후두엽의 시각피질과 두정엽의 시공간적 작업기억 관련 영역만이 아닌 전전두피질부의 연동회로가 기능적으로 함께 나타나고 있다. 이러한 결과는 많은 선행 연구들에서 언급하고 있듯이 과학적 관찰은 단지 보는 것 혹은 단지 감각정보를 일방적으로 수용하는 것 이상의 것임을 확인할 수 있었다. 또한 특히 방추이랑과 두정부가 함께 후두엽과 유의미한 기능적 연결을 보임으로써 관찰사실의 인식에 있어서 시각인식의 '무엇 회로(what pathway)'와 '어디 회로(when pathway)'의 공조에 의해 사물이나 현상에 대한 관찰이 이루어짐을 두뇌수준에서 확인할 수 있었다.

이 연구를 바탕으로 학생들이 과학적 관찰을 수행할 때의 두뇌 활성화 영역을 구체적으로 알고 있다면, 우리는 이러한 두뇌 영역의 사용을 촉진시키고 활성을 강화시키는 것을 목표로 하여 교수-학습 프로그램을 개발할 수 있을 것이다. 보다 구체적인 예를 들어 보면, 이 연구를 통해 밝혀진 과학적 관찰과정에서의

두뇌 활성화 네트워크영역을 바탕으로, 새로이 개발되는 과학적 관찰 탐구 자료 또는 프로그램이 실제로 이들 두뇌 영역의 활성화 네트워크를 자극할 수 있는지를 조사해 봄으로써 교수-학습 프로그램에 대한 타당성을 신경학적 수준에서 검증해 볼 수 있다.

국문 요약

이 연구의 목적은 중, 고등학교 과학교사들의 생명현상에 대한 과학적 관찰에서 나타나는 두뇌의 활성화 양상 및 기능적 연결 네트워크를 규명하는 것이다. 이를 위해 중, 고등학교에서 근무하는 26명의 건강한 오른손잡이 과학교사들이 이 연구에 참여하였다. 과학교사들의 과제수행 과정에서의 두뇌활성을 측정하기 위하여 3.0T(테슬라)의 fMRI 시스템과 블록디자인의 관찰과제가 사용되었다. 신호의 수집과 분석에는 SPM2 프로그램이 활용되었다. 연구결과에 따르면, 관찰과정에서 과학교사들은 좌측 상전두이랑, 중전두이랑, 중심전두이랑, 하전두이랑, 양측 상두정소엽, 좌측 하두정소엽, 좌측 뺨기전소엽, 우측 중측두이랑, 양측 방추이랑, 좌측 상후두이랑, 양측 중후두이랑, 좌측 하후두이랑, 우측 혀이랑, 양측 방추이랑, 양측 뺨기소엽, 우측 해마옆이랑, 좌측 조가비핵, 그리고 양측 소뇌비탈의 활성을 보였다. 또한 이들 영역 중 관찰과정에서 기능적으로 연결성을 보이는 네트워크를 형성하는 것으로 선정된 11개의 영역에서 10개의 유의미한 기능적 연결을 형성하였다. 이러한 결과는 생명현상에 대한 과학적 관찰이 단순한 감각수용만을 넘어선 기능적 연결이 필요함을 시사한다.

주요어: 중등학교 과학교사, 과학적 관찰, 두뇌 활성화 양상, 두뇌 기능적 연결, 기능성자기공명영상

참고 문헌

권용주, 이준기, 신동훈, 이효녕 (2006). 생명현상의 관찰과 명화 감상에서 나타나는 생물교육학자들의 두뇌활성: fMRI 연구. *중등교육연구*, 54(3), 475-502.

권용주, 이준기, 신동훈, 정진수 (2007). 기공과 새우 과제에서 초·중등 교사들이 생성한 관찰의 분석 및 관찰력 지수의 개발. *중등교육연구*, 55(3), 83-

112.

권용주, 정진수, 강민정, 박윤복 (2005). 생명현상에 대한 초·중등 과학교사의 관찰에서 나타난 과학적 관찰의 유형. *한국과학교육학회지*, 25(3), 431-439.

박종원, 김익균 (1999). 과학적 관찰의 의미와 탐구과정에서 학생들의 관찰행동 분석. *한국과학교육학회지*, 19(3), 487-500.

신동훈, 권용주 (2007). 초등과학 교육에서 두뇌 연구 방법의 고찰 - fMRI 활용법을 중심으로 -. *초등과학교육*, 26(1), 49-62.

유승식 (2001). 기능성 자기 공명 영상 실험(실전 응용을 중심으로 한). 서울: 의학문화사.

Amaro, E. Jr., & Barker, G. J. (2006). Study design in fMRI: Basic principles. *Brain and Cognition*, 60, 220-232.

Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridge over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in cognitive sciences*, 10(4), 146-151.

Bar, M., & Aminoff, E. (2003). Cortical analysis of visual context. *Neuron*, 38, 347-358.

Cagriota-Scanderbeg, A., Hagberg, G. E., Cerasa, A., Committeri, G., Galati, G., Patria, F., Pitzalis, S., Caltagirone, C., & Frackowiak, R. (2005). The appreciation of wine by sommelier: a functional magnetic resonance study of sensory integration. *NeuroImage*, 25, 570-578.

Caveza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 1-47.

Delgado, M. R., Miller, M. M., Inati, S., & Phelps, E. A. (2005). An fMRI study of reward-related probability learning. *NeuroImage*, 24, 862-873.

Friston, K. J., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1993). Time-dependent changes in effective connectivity measured with PET. *Human Brain Mapping*, 1, 69-79.

Ganis, G., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2004). Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20, 226-241.

Green, A. E., Fugelsang, J. A., Kraemer, D. J. M., & Shamos, N. A. (2006). Frontopolar cortex mediates abstract integration in analogy. *Brain Research*, 1096, 125-137.

Hanson, N. R. (1961). *Patterns of discovery : An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Horwitz, B. (2003). The elusive concept of brain connectivity. *NeuroImage* 19, 466-470.

Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2004). *Functional magnetic resonance imaging*. Sunderland, MA: Sinauer associate, Inc.

James, T. W., Servos, P., Kilgour, A. R., Hur, E., & Lederman, S. (2006). The influence of familiarity on brain activation during haptic exploration of 3-D facemasks. *Neuroscience Letters*, 397, 269-273.

Kitchener, R. F. (1999). *The conduct of inquiry : An Introduction to Logic and Scientific Method*. Lanham, MD: University press of america.

Koshino, H., Carpenter, P. A., Minshew, N. J., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., & Just, M. A. (2005). Functional connectivity in an fMRI working memory task in high-functioning autism. *NeuroImage*, 24, 810-821.

Lee, J. K. (2009). *Dissociation of the brain activation network associated with hypothesis-generating and hypothesis-understanding in biology learning: Evidence from an fMRI study*. Unpublished Doctoral Dissertation. Cheongwon, Chungbuk: Korea National University of Education.

Lee, J., Kwon, Y., & Jeong, J. (2008). Neural substrates during finding target objects and observing natural phenomena : An fMRI

study. In *Advances in Cognitive Neurodynamics*, R. Wng, F. Gu & E. Shen (Eds.). Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Lee, L., Harrison, L. M., & Mechelli, A. (2003). A report of functional connectivity workshop, Dusseldorf 2002. *NeuroImage*, 19, 457-465.

Marrelec, R., Bellec, P., Krainik, A., Duffau, H., Pelegrini-Issac, M., Lehericy, H., Benali, H., & Doyon, J. (2008). Regions, systems, and the brain: Hierarchical measures of functional integration in fMRI. *Medical Image Analysis*, 12, 484-496.

McClure, S. M., Berns, G. S., & Montague, P. R. (2003). Temporal prediction error in a passive learning task activate human striatum. *Neuron*, 38, 339-346.

Milner, G. A. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting. *Archives of Neurology*, 9, 90-100.

Passingham, R. E., Stephan, K. E., & Ktner, R. (2002). The anatomical basis of functional localization in the cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 606-616.

Poirier, C. C., De Volder, A. G., Tranduy, D., & Scheiber, C. (2006). Neural changes in the ventral and dorsal visual streams during pattern recognition learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 85, 36-43.

Reed, C. L., Shoham, S., & Halgren, E. (2004). Neural substrates of tactile object recognition: An fMEI study. *Human Brain Mapping*, 21, 236-246.

Rosenzweig, M. R., Breedlove, S. M. & Watson, N. V. (2005). *Biological psychology: an introduction to behavioral and cognitive*

neuroscience, 4th Ed. Sinauer associate, Inc.

Schaefer, A., Collette, F., Philippot, P., Van der Linden, M.m Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Maquet, P., Luxen, A., & Salmon, E. (2003). Neural correlates of "hot" and "cold" emotional processing a multilevel approach to the functional anatomy of emotion. *NeuroImage*, 18, 983-949.

Schultz, J., Chuang, L., & Vuong, Q. C. (2007). A dynamic object-processing network: Metric shape discrimination of dynamic objects by activation of occipitotemporal, parietal, and frontal cortices. *Cerebral Cortex*, 18(6), 1302-1313.

Seung, Y., Kyong, J. S., Woo, S. H., Lee, B. T., & Lee, K. M. (2005). Brain activation during music listening in individuals with or without prior music training. *Neuroscience Research*, 52, 323-329.

Sommer, T., Rose, M., Weiller, C., & Büchel, C. (2005). Contribution of occipital, parietal and parahippocampal cortex to encoding of object-location associations. *Neuropsychologia*, 43, 732-743.

Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-Planner stereotaxic atlas of the human brain*. New York: Thieme Medical publisher, Inc.

Tononi, G., Edelman, G. M., & Sporns, O. (1998). Complexity and coherency: integrating information in the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(12), 474-484.

Yue, X., Vessel, E. A., & Biederman, I. (2007). The neural basis of scene preferences. *NeuroReport*, 18(6), 525-529.