

분류 지식의 생성과 이해 형태 학습을 통한 학생들의 두뇌활성 변화

권용주 · 이준기*

한국교원대학교

Learning-Related Changes on the Brain Activation Patterns in Classification of Knowledge-Generation and -Understanding

Yong Ju Kwon · Jun Ki Lee*

Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study was to investigate how a teaching approach influences student's ability of classification at the brain level. Twenty four healthy and right-handed college students participated in this study, which investigated a brain plasticity associated with category-generation and -understanding in classification learning. The participants were divided into one of two groups, one each for category-generation and -understanding learning programs, which were composed of twelve topics taught over a twelve-week period. To measure the change in student competence and brain activations, a paper and pencil test and an fMRI scanning session were administered before and after the training programs. Unlike the understanding group, the generation group showed significant changes in classification ability quotients and learning-related brain activations (cerebral cortex and basal ganglia were increased and prefrontal cortex and parahippocampal gyrus were decreased). Nevertheless, the understanding group showed an increased activation in the cerebral cortex and parahippocampal gyrus and a decreased activation in the right prefrontal cortex and cerebellum. Therefore, it can be concluded that teaching styles could influence students' brain activation patterns and classification ability. The results might also be used to develop a brain-compatible science education curriculum.

Key words: teaching-learning style, classification, knowledge-generating, knowledge-understanding, brain-compatible learning, fMRI

I. 서론

일반적으로 분류는 사물이나 사건, 사람들을 일정한 기준에 따라 구분하고, 범주화 된 것들 사이에 일정한 질서를 세우는 활동을 의미한다. 과학탐구의 맥락에서 분류는 귀납적 지식생성과정의 한 영역으로, 관찰한 대상들로부터 공통점과 차이점을 찾아 범주화하고 위계적 순서를 정하는 활동으로 정의되고 있다(권용주 등, 2003; AAAS, 1990). 분류는 과학의 모든 영역에서 기초적으로 과학자들 간의 정보교류를 위한 토대를 만들어주는 중요한 인지기능이지만, 특히 생물학 탐구에 있어 다양한 생물들을 특정 기준에 따라 범주화함으로써 정보들을 일목요연하게 제공할 수 있어 중요하게 여겨지고 있다(Honey & Paxman, 1986; Magulis, 1981).

이렇게 과학탐구에서 중요한 '분류'는 지금까지 분류개념의 분석(김수미와 정영란, 1997; 박경화, 2003; 정완호 등, 1999), 분류의 유형과 사고과정(조은미 등, 2005; 주정은과 차희영, 2007; 최현동 등, 2006). 분류 교수학습 프로그램 개발(심재호와 정완호, 1996; 장지은 등, 2005) 등에서 다양하게 연구되어 왔다. 그러나, 이 연구들은 행동적으로 표출되는 결과물인 지필검사 결과의 분석을 통해 간접적으로 학생들의 분류능력을 가능하고 있다. 하지만 인간의 모든 사고는 두뇌의 활동을 통해 산출되는 것이다. 분류에 관한 두뇌수준의 설명에 대해서는 현재까지 연구된 바가 많지 않다. 물론 최근 인지심리 연구들을 통해 간단한 도형의 범주화 등을 소재로 분류활동 수행시의 두뇌기능에 대한 논의가 이루어졌고(Grossman *et al.*, 2002; Jiang *et al.*, 2007; DeGutis &

*교신저자: 이준기(junkibrain@gmail.com)

**2010.02.26(접수) 2010.04.06(1심통과) 2010.05.06(2심통과) 2010.05.07(최종통과)

***이 논문은 한국교원대학교 2009학년도 연구년교수 연구비 지원을 받아 수행하였음.

D'Esposito, 2009), 과학탐구 중 생물분류 활동에서의 두뇌활성 기능네트워크가 보고된 바 있다(Byeon *et al.*, 2009). 그러나 여전히 분류학습에 따른 학생들의 두뇌 활성 변화에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

따라서, 이 연구에서는 교사의 교수-학습 방식(지식 생성형 vs. 지식이해형)이 학생의 분류능력에 어떤 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 특히, 이를 통해 무엇이 학생들의 분류수업을 지루하게 만드는지에 대한 두뇌수준의 보다 직접적인 설명을 제시하고자 하였다.

II. 연구방법 및 절차

1. 연구 대상자

이 연구에서는 과학적 분류 학습에 따른 두뇌 활성 패턴의 변화를 알아보기 위하여 24명의 건강한 오른손잡이 지원자를 표집 하였다. 이들은 중부권 소재 교사양성 대학에 재학 중인 학생들(평균연령 21.45, 연령범위 20-23) 이었다. 모든 연구대상자들은 시력검사, 정신과 치료, 폐쇄공포증, 의학적 약물복용, 체내 금속물질 검사에서 모두 이상이 없는 대상으로 표집 하였다. 또한 연구진과 한국과학기술원이 제시한 연구 참여 동의서에 서명하였으며 연구기관의 연구생명윤리위원회의 사전승인도 득하였다. 이들은 무선표집에 의해 각각 12명씩 생성반(남6, 여 6; 연령 21.17±1.60)과 이해반(남 6, 여 6; 연령 22.33±3.39)으로 나뉘었으며, 권용주 등(2007)의 방법에 의해 알아본 이들의 사전 분류능력에는 차이가 없었다($p = 0.576$).

2. 연구절차

연구의 절차를 살펴보면, 먼저 연구에 참여한 학생

들을 지식 생성 집단과 이해 집단으로 나누었다. 그리고 학습 프로그램 처치에 앞서 사전에 분류지식생성능력을 Byeon *et al.* (2009)이 제시한 지필검사도구(p-task)로 알아보고 아울러 이들의 두뇌 활성 패턴을 fMRI를 통해 측정하였다. 그런 다음 이들을 12주간 주 1회씩 12개 주제에 대해 범주생성(category-generating)과 범주이해(category-understanding)이라는 서로 다른 방식으로 학습하였다. 학습이 종료된 시점에 변화된 분류지식생성능력과 두뇌활성 패턴 파악을 위한 사후측정을 실시하였다. fMRI 측정은 독립된 두 scanning session (지식생성 세션과 지식이해 세션)으로 사전-사후에 2회씩 4회 실시되었다. 이러한 과정을 간략히 도식화 하면, Fig. 1과 같다.

3. 분류 지식 생성 및 이해를 위한 교수-학습프로그램

연구에 사용된 지식 생성 및 이해 형태 학습프로그램의 주제는 생물교육 전문가 4인과 생물교사 3인의 R&D 방식을 통해 개발되었다. 이 프로그램은 학생들에게 투입하기에 앞서 다른 학생들에게 4차례 예비 투입하여 연구에 사용할 12개의 최종 학습프로그램 주제를 선정하였다(Table 1).

각 과제에서 교수-학습 활동은 생성 집단의 경우 권용주 등(2003, 2008)이 제시한 귀납적 추론과정 중 분류지식 생성과정에 바탕을 두고 진행되었다. 지식 생성형 학습프로그램은 학생들이 직접 대상을 관찰한 후 자신들이 얻은 사실정보를 바탕으로 기준을 고안하고, 이를 통해 대상을 범주화해 보는 과정으로 이루어져 있다. 이때 지식생성형 학습프로그램을 경험하게 되는 생성 집단은 관찰 대상에 대해 학생 스스로 능동적으로 분류 범주를 생성하여 분류하는 것이 주 안점이라 할 수 있다. 반면, 이해반의 경우에는 지식

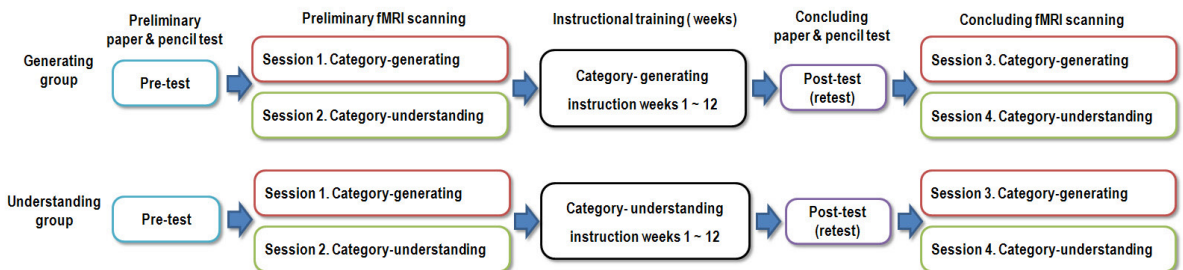


Fig. 1 Experimental protocol. Students engage in a repeated crossover design learning program for either "category-generating instruction" or "category-understanding instruction" throughout 12 weeks. Before each scanning phase, a paper & pencil test is administered to students to examine category generation ability.

Table 1
Learning program topics of classification instruction

Instruction week	Leaning programs	
	Classification topics	Areas
1st	Various flowers	Plant and Microorganisms
2nd	Various birds	Animal
3rd	Various seeds	Plant and Microorganisms
4th	Various butterflies	Animal
5th	Various pollens	Plant and Microorganisms
6th	Various beetles	Animal
7th	Various protozoans	Plant and Microorganisms
8th	Various shells	Animal
9th	Various mushrooms	Plant and Microorganisms
10th	Various fishes	Animal
11th	Leaves of trees and shrubs	Plant and Microorganisms
12th	Various snails	Animal

이해형 학습을 진행하였다. 지식이해형 학습프로그램에서는 학생들이 지식생성형 학습프로그램과 동일한 12개 과제(Table 1)에 대해 관찰을 수행하고 대상을 분류하기 위한 적합한 분류 범주에 대해 교사가 바로 제시해 주면 학생들은 이해하는 방식으로 진행되었다.

4. fMRI 실험과제의 개발

이 연구에서는 1차로 50개의 '범주지식 생성(category-generating)' 및 '범주지식 이해(category-understanding)'의 fMRI 과제를 개발한 후, 이들 과제에 대해서 30명(본 실험 대상자와 다른 대상자)을 대상으로 pilot test를 거친 다음 fMRI scanning이 일어나는 15초 동안에 분류범주 생성이 가능하고 확실한 특징이 시각적으로 인식되기 용이해 LCD projector로 제시되어도 이해가 빠른 30개 과제를 최종적으로 fMRI 실험과제로 선정하였다. 이중 10개를 연습과제, 나머지 20개를 본 과제로 하였다. 특히 이 연구에서는 연구대상자들이 범주생성과 범주이해에 대한 과제에 모두 참여하기 때문에, 두 영역의 과제 수행에 대해 같은 내용을 사용하면 기억에 의한 오염 가능성이 존재한다. 그래서 범주생성과 범주이해 영역의 각 과제는 같은 내용을 사용하지 않으면서 유사한 유형의 과제로 된 동형검사를 각 영역의 과제에 적용하였다(각 영역 당 10과제).

과제개발에 적용된 분류준거는 발톱의 유무, 몸통의 굵기, 등의 소형 짐박이 무늬 유무, 다리(부속지)의

모양, 머리의 모양, 등의 얼룩무늬 유무, 눈의 유무, 지느러미의 유무 및 모양 그리고 꼬리의 모양 및 유무이다. 이 준거들은 동형검사 개발 시에도 동일하게 적용되었다. 이때 동형검사 신뢰도는 0.94였다. fMRI 과제에 사용된 Caminalcules set은 Joseph Camin에 의해 고안된 것으로 자연계에 존재하지 않는 상상의 동물이다. 이것은 가상의 생물체이기 때문에 학생들의 선행지식이 형성되어있지 않아 순수한 분류사고를 탐지하는데 용이하고 다양한 세부 형질을 통해 제작된 인공적인 동물이어서 다양한 분류가 가능하다(조은미 등, 2005; Gendron, 2000).

모든 피험자는 분류 범주생성과 이해 영역의 과제를 수행하는 과정에서 일어나는 두뇌의 활성을 fMRI로 측정하였다. fMRI 측정을 위한 범주생성과 이해 영역별 과제의 제시 순서는 Fig. 2와 같다. 먼저 공조건(dummy)을 제시한 후, 각 과제에 대해서 과제의 영역을 안내하고, 해당 과제를 수행하고, 과제 수행의 완료 여부를 확인하고, 마지막으로 기저조건을 제시한 후 다음 과제로 넘어간다. 이런 과정을 각 과제에 대해서 모두 수행하고, 이러한 과제의 수행동안 일어나는 두뇌 활성의 변화를 fMRI로 측정하였다. 이 과정에서 첫 번째 측정세션인 범주생성 과제에서는 제시된 6마리의 카미나쿨스들에 대해 연구참여자가 직접 자신만의 범주를 생성하는 것이고, 두 번째 측정세션인 범주이해 과제에서는 연구자에 의해 사전에 제시된 분류 범주를 연구참여자가 보고 이해하는 과정으로 이루어져 있다.

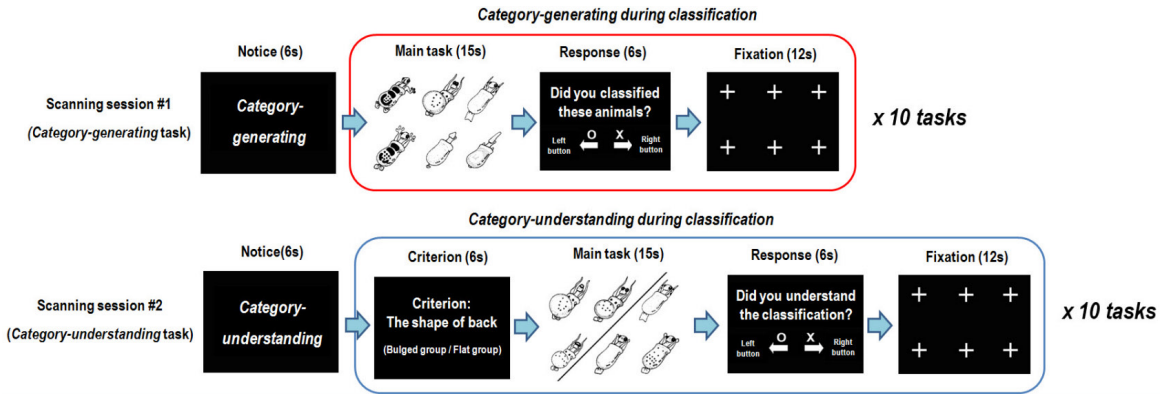


Fig. 2 Schematic representation of fMRI experimental design. Each scanning session was consisting of 10 tasks. See the text for explanation.

5. fMRI 데이터 수집과 분석

피험자들의 두뇌 활성 상태를 측정하기 위한 자기공명 영상의 측정은 한국과학기술원 fMRI 연구동 내에 있는 3.0T fMRI scanner (ISOL Tech., Korea)를 사용하였다. 이 연구에서는 권용주와 이준기(2007)의 과정에 따라서 과제 수행 중 나타나는 두뇌 활성의 fMRI 데이터를 수집하였다. 이렇게 수집된 결과는 MATLAB 7.0 프로그램 환경에서 구현되는 SPM 2 소프트웨어를 사용하여 처리되었다. 세부적인 분석 활성결과 도출과정은 권용주와 이준기(2007)가 제시한 방법을 따랐다.

또한 피험자들이 과제수행에서 의미 있게 범주를 생성했는지에 대해서 확인하기 위하여 fMRI 시스템 내에서 두뇌 활성을 측정하는 중 범주생성 또는 이해의 완료 여부를 확인하는 과정을 포함하였다. 즉, 피험자가 가설 생성 또는 이해 과제의 수행에 대해서 과제를 완료시 좌측 버튼, 미 완료시 우측 버튼을 누르도록 하였다. 피험자의 사전훈련은 fMRI와 유사하게 제작된 연습용기기인 Mock-up (fMRI simulator)내에서 훈련을 실시하여 공포감이나 부자연스러운 느낌을 최소화 하고 사고에만 집중할 수 있도록 하였다. Mock-up 은 외양과 과제자극제시 방식이 실제 fMRI와 완전히 동일하나 자기력만 발생되지 않도록 한 장치이다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 지필 및 행동 연구의 결과

피험자의 fMRI 측정 데이터에 따르면 모든 피험자

들은 범주생성 과제에서 자신의 가설을 생성하였으며, 범주이해 과제에서는 제시된 분류기준(범주)을 이해하였다고 응답하였다. 따라서 이 연구에서는 모든 피험자들의 fMRI 데이터에 대해 분석을 위한 유효 피험자 및 유효 자료로 인정하고 분석하였다.

분류범주생성 과제의 수행에서 학생들의 분류능력이 학습프로그램 경험을 통해 얼마나 향상되었는지를 지필검사를 통해 알아 본 결과는 Fig 3과 같다. 생성 집단의 경우 사전에 18.2 ± 9.88 이던 분류능력지수(CQ)가 사후에 48.42 ± 11.22 로 상승했고, 이해반 학생들의 경우도 15.67 ± 7.88 에서 27.23 ± 8.14 로 상승했다. 두 집단 모두 학습프로그램을 경험한 뒤에 의미 있는 분류능력지수의 차이를 나타냈으며, 사후 검사에서 생성 집단이 이해 집단보다 통계적으로 유의미하게 높았다 [$F(1, 23) = 10.941, p = 0.003, ANOVA$].

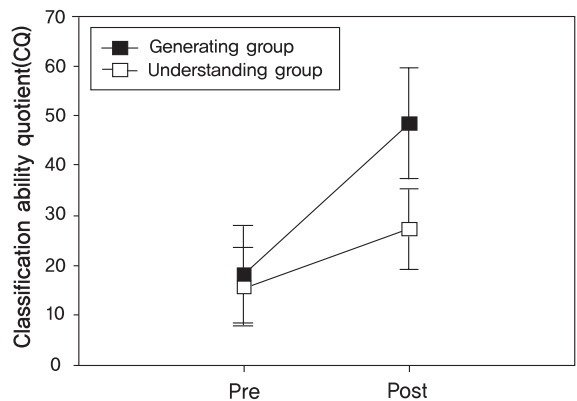


Fig. 3 Variation in the means of classification ability quotients (CQ) for category-generating during biological classification. (values indicate mean ± standard deviation).

2. fMRI 연구의 결과 및 논의

1) 지식생성형 분류 과제 수행에서 나타난 두뇌 활성 패턴

학생들 스스로 자신만의 범주를 생성하는 분류범주 생성 과제의 수행에서 나타난 학생들의 두뇌 활성 패턴은 그들이 어떤 방식의 학습을 경험했는가에 따라 매우 다르게 변화되었다. 구체적으로, 지식생성형 분류 과제 수행에서 생성반과 이해반의 두뇌활성 변화의 차이는 주로 대뇌 엽하 영역(변연계 또는 기저핵 이하 영역)에서 의미 있게 나타났다(Table 2, Fig. 4B, C, D). 즉, 지식생성형 분류과제 수행에서 생성 집단의 경우 학습 전후의 두뇌 활성 변화에서 통계적으로 의미 있는 차이를 보였지만($n = 24, p < 0.001$, FWE corrected) 이해 집단의 경우에는 차이가 없었다($n = 24, p = 0.132$, FWE corrected).

먼저, 지식생성형 분류과제 수행에서 지식생성 집

단은 12주간의 지식생성식 학습을 체험한 후 집단의 두뇌 활성 변화에서 유의미한 증가와 감소를 모두 보 여주었(Table 2). 특히, 생성형 과제에 대한 지식생성 형 학습 집단의 두뇌 활성은 대뇌피질(cerebral cortex) 영역(Fig. 4A)과 대뇌 엽하(sub-lobar) 영역 (Fig. 4B, C, D)에서 증가하였다. 또한 좌측 내측전두 이랑(medial frontal gyrus), 좌측 중심전두이랑 (precentral gyrus), 양측 시상(thalamus), 좌측 미 상핵꼬리(caudate tail) 그리고 우측 피각(putamen) 영역에서도 의미 있는 활성 증가 양상을 보였다. 반면 이들 집단은 지식생성 학습 후에 양측 하전두이랑 (inferior frontal gyrus), 우측 상측두이랑 (superior temporal gyrus), 우측 해마옆이랑 백질 부(parahippocampal gyrus, white matter region) 그리고 우측 띠이랑(cingulate gyrus)에서 활성의 감 소를 보였다.

Table 2

Learning-related changes in the participants' brain activation patterns during the knowledge-generating classification ($n = 26, p < 0.001$, FWE corrected)

Lobe	Region of activation	BA & Side	Z score	Talairach coordinates		
				x	y	z
Category-generating during classification (category-generating - baseline)						
Generating group						
Learning-related increase[(Post - baseline)] - [(Pre - baseline)]						
Frontal	Medial frontal gyrus	11 L	6.88	-4	11	-21
	Precentral gyrus	6 L	5.04	-44	-7	19
Sub-lobar	Thalamus	L	6.44	-16	-13	12
		R	6.23	6	-27	7
	Caudate tail	L	5.73	-24	-36	22
	Putamen	R	6.07	24	2	-2
Learning-related decrease[(Pre - baseline)] - [(Post - baseline)]						
Frontal	Inferior frontal gyrus	47 L	5.91	-48	15	-4
		47 R	6.21	38	25	-10
Temporal	Superior temporal gyrus	38 R	4.56	30	18	-29
Limbic	Parahippocampal gyrus	WM R	5.48	24	-3	-23
	Cingulate gyrus	24 R	6.23	18	-8	34
Understanding group						
Learning-related increase [(Post - baseline)] - [(Pre - baseline)]						
No survival voxels						
Learning-related decrease[(Pre - baseline)] - [(Post - baseline)]						
No survival voxels						

BA: Brodmann area, L: left hemisphere, R: right hemisphere, Pre: pre-training, Post: post-training

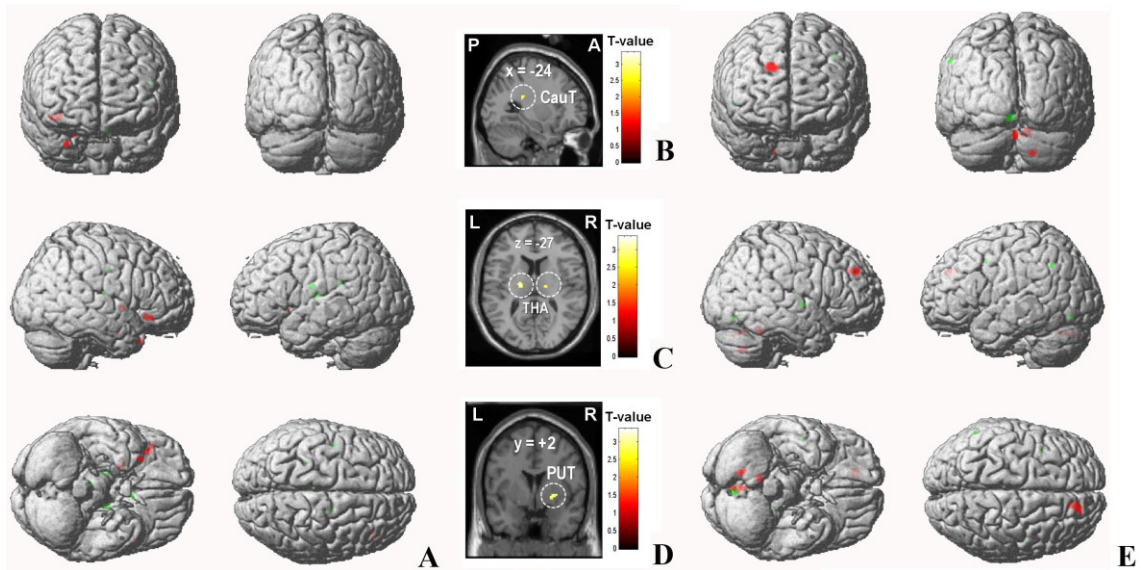


Fig. 4 Graphical renderings of the brain activations from direct comparison during category-generating (A, B, C, D) and -understanding (E) tasks. A: Learning-related increase [(Post baseline)] [(Pre baseline)] (red) and learning-related decrease [(Pre baseline)] [(Post baseline)] (green) during category-generating tasks in the generating group. B, C, D: Sub-lobar activations during the category-generating task in the generating group. E: Learning-related increase [(Post baseline)] [(Pre baseline)] (red) and learning-related decrease [(Pre baseline)] [(Post baseline)] (green) during category-understanding tasks in the understanding group. ($n = 24$, $p < 0.001$, FWE corrected). L: left, R: right, A: anterior, P: posterior, CauT: caudate tail, THA: thalamus, PUT: putamen.

반면, 지식이해식 학습을 경험한 집단의 경우 직접 분류범주를 생성하는 생성형 과제의 수행에서 학습 전후에 의미 있는 두뇌활성의 변화가 나타나지 않았다(Table 2). 즉, 동일한 분류 내용일지라도 지식이해식으로 학습하게 되면 능동적으로 분류 범주를 생성하는 과제에서 학습의 효과가 없다는 것을 의미한다. 예비교사들의 가설생성 및 가설이해 학습과정에서의 두뇌 활성 변화를 연구한 Kwon *et al.* (2009)의 연구에서도 이해반 학생들의 두뇌활성 패턴은 가설생성 사고에서는 전-후에 유의미한 변화를 보이지 않았으나 생성반에서는 활성의 증감이 나타났다.

이 연구에서 지식생성식 학습에 의해 활성이 증가된 두뇌 영역들의 분포를 살펴보면 대뇌피질과 엽하영역-특히 기저핵(basal ganglia) 영역-이 함께 나타남을 알 수 있다. 이것은 분류를 범주 생성형으로 학습할 때 대뇌의 피질 뿐 아니라 내측 영역까지 모두 함께 활성화 시키며 발달시킬 수 있다는 것을 의미한다. Ashby *et al.* (1998)은 인간의 분류 및 그 과정에서 범주학습에 대해 COVIS (Competition between Verbal and Implicit System) model 이

라는 신경학적 이론모형을 제시한 바 있다(Fig. 5). 이 모델에 따르면 모든 인간은 분류 과정에서 고등사고 영역에 있어 상당부분을 담당하는 것으로 알려진 대뇌 피질 영역과 대뇌의 내측에 위치하는 보상 및 절차 지식 학습과 관련되는 기저핵 영역이 서로 경쟁하면서 상호작용 속에 학습이 일어나게 된다는 것이다. 더 나아가 COVIS 모형에서는 선조체(striatum)가 절차적인 학습과정을 통해 암묵적으로 연합학습을 매개하는 가장 중요한 두뇌 활성 영역으로 간주하고 있다 (Ashby & Maddox, 2005; Poldrack *et al.*, 1999). 또한 우리가 분류를 수행하거나 범주를 배우는 과정은 두뇌 수준에서 하나의 시스템이 아닌 다중적인 시스템의 경쟁에 의해서만 이루어진다.

자신이 직접 범주를 생성하면서 능동적으로 분류를 수행하는 분류범주 생성학습의 경우 - 생성반 학생들이 12주간 수행한 것 - 는 시각피질에서 받은 자극을 미상핵꼬리 부분으로 정보를 투사하고, 여기에서 정보간의 연합학습이 이루어진다고 할 수 있다. 이 연구의 결과에서도 자신이 직접 분류를 수행하는 절차학습에 기반을 둔 생성반 학생들의 경우 반복적 훈련으

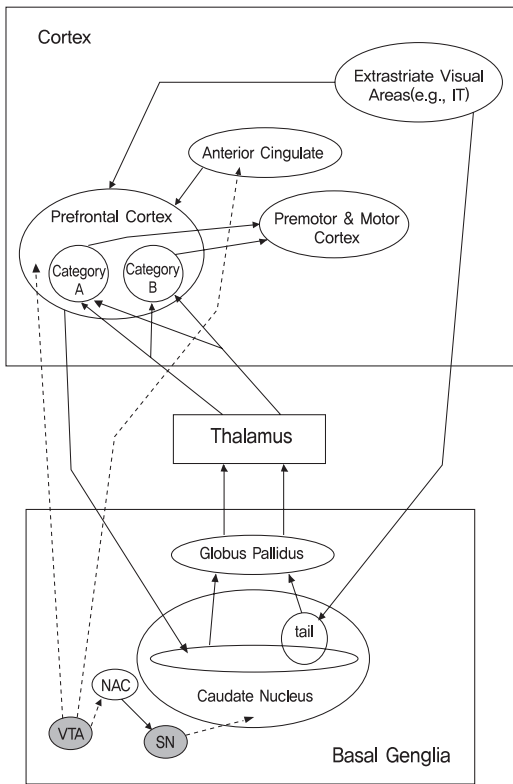


Fig. 5 A schematic depicting the neurophysiological underpinnings of COVIS (competition between verbal and implicit systems). The dotted lines denote dopamine projections. VTA = ventral tegmental area; SN = substantia nigra; NAC = nucleus accumbens; IT = inferotemporal cortex (Ashby et al., 1998).

로 인해 미상핵꼬리와 피각(선조체의 한 영역)이 사후에 강한 활성을 드러내는 것으로 나타났다. 이 영역은 선행연구들에 의해 절차적 지식의 매개 뿐 아니라 뇌내의 쾌락물질인 도파민의 전달 통로로 알려져 있다 (Ashby et al., 1998; Mizuno et al., 2008). 즉, 이 영역의 활성을 매개로 하는 두뇌 시스템 운용은 즐거움이 동반된다는 것이다. 따라서 탐구형으로 직접 범주를 생성하면서 수업을 하면 학생들이 지겨워하지 않고 즐거움을 느끼는 이유는 피각에서 전두엽으로의 도파민 투사가 원인이라고 볼 수 있다.

한편 우리가 다양한 대상들을 보고 적당한 분류 범주를 생성하려면 절차적 지식뿐만 아니라 이것을 언어적으로 표상하기 위한 선언적 지식의 역할이 중요하다 (Ashby & Maddox, 2005). 이것을 도와주는 것이 나머지 하나의 시스템이 피질계이다. 특히 이들 중

에서도 언어와 관련되는 좌측 전전두엽 영역의 활성화는 추상적인 범주를 명시적으로 생성한 뒤에 언어화하여 이를 재차 대입하여 확고히 하는 과정에서 중요한 역할을 한다. 때문에 생성반 학생들의 경우, 기저핵 영역뿐 아니라 피질계 역시 활성이 증가된 것이다. 그러나 이해식으로 배우게 되는 경우는 선언적 지식의 형태인 연구자나 교사에 의해 이미 분류된 범주만을 수용하거나 혹은 이해하게 된다. 그러므로 그런 학생들이 절차적 지식을 요하는 능동적인 분류범주 생성에서 의미 있는 전두피질계 활성의 증감은 나타나지 않게 되는 것이다.

생성반 학생들이 학습경험 후 활성이 감소되는 영역들은 일반적으로 갈등이나 선택과정에서의 정보처리와 관련되는 하전두이랑이나 앞쪽띠이랑과 같은 신경회로들이다 (Amodio et al., 2007; Zhang et al., 2003). 절차 형태의 지식은 오랜 기간 학습을 통해 전문화될 수 있으며 이 과정에서 신경회로 단축이나 혹은 갈등-선택 같은 과정이 소거되는 지름길 효과가 나타나기도 한다. 이것을 통상 전문가 효과 (expert effect) 혹은 신경효율성 가설 (neural efficiency hypothesis) 이라고 한다 (Haier et al., 1992). 생성반 학생들이 12주간 체험한 분류수업은 절차적 과정을 기반으로 하는 탐구의 과정이다. 이들의 활성감소는 이러한 이유로 볼 수 있다.

2) 지식이해형 분류 과제 수행에서 나타난 두뇌 활성 패턴

범주지식 이해형 분류 과제에서는 생성 집단과 이해 집단의 차이가 주로 대뇌 피질(cerebral cortex)과 소뇌(cerebellum) 일부 지역에서 의미 있게 나타났다 (Table 3, Fig. 4E). 즉, 지식이해형 분류과제 수행에서 이해 집단의 경우 학습 전후의 두뇌 활성 변화에서 의미있는 차이를 보였지만, 생성 집단의 경우에는 차이가 없었다.

지식이해형 분류 과제의 수행에서 이해 집단은 12주간 지식이해식 학습경험 후 두뇌 활성의 변화에서 유의미한 증가와 감소를 모두 보여주었다. 이해 집단에서 지식이해형 학습후 두뇌 활성이 증가된 영역은 대뇌피질 영역과 변연계(limbic system) 및 소뇌(cerebellum) 영역 모두에서 나타났다 (Table 3). 이들은 좌측 중전두이랑(middle frontal gyrus), 좌측 중심전두이랑(precentral gyrus), 좌측 하두정소엽

Table 3

Learning-related changes in the brain activation patterns during the category-understanding condition ($n = 26$, $p < 0.001$, FWE corrected)

Lobe	Region of activation	BA & Side	Z score	Talairach coordinates		
				x	y	z
Category-understanding during classification (category-understanding - baseline)						
Generating group						
Learning-related increase [(Post - baseline)] - [(Pre - baseline)]						
No survival voxels						
Learning-related decrease[(Pre - baseline)] - [(Post - baseline)]						
No survival voxels						
Understanding group						
Learning-related increase [(Post - baseline)] - [(Pre - baseline)]						
Frontal	Middle frontal gyrus	9 L	6.41	-40	10	38
	Precentral gyrus	6 L	6.32	-44	-14	30
Parietal	Inferior parietal lobule	49 L	5.56	-55	-52	39
Temporal	Superior temporal gyrus	22 R	5.18	50	-8	0
Occipital	Lingual gyrus	18 L	6.23	-4	-72	-6
Limbic	Parahippocampal gyrus	36 L	5.11	-18	-34	-17
Learning-related decrease[(Pre - baseline)] - [(Post - baseline)]						
Frontal	Superior frontal gyrus	9 R	5.92	20	46	27
	Medial frontal gyrus	WM R	5.44	14	38	29
Cerebellum	Uvula	R	5.33	16	-68	-34
	Culmen	R	4.21	12	-49	-18
	Declive	R	5.34	2	-63	-19
	Declive of Vermis	R	5.19	2	-71	-20

BA: Brodmann area, L: left hemisphere, R: right hemisphere, Pre; pre-training, Post; post-training

(inferior parietal lobule), 우측 상측두이랑(superior temporal gyrus), 좌측 혀이랑(lingual gyrus) 그리고 좌측 해마옆이랑(parahippocampal gyrus) 영역에서 의미 있는 두뇌활성의 증가 양상을 보였다. 반면, 이들 집단에서 활성이 감소된 영역들도 발견되었는데, 우측 상전두이랑(superior frontal gyrus), 우측 내측전두이랑 백질부(medial frontal gyrus, white matter region) 그리고 우측 소뇌영역들[소뇌목젖(uvula), 소뇌정상(culmen), 소뇌비탈(declive) 그리고 소뇌별레용기(declive of vermis)]에서 두뇌활성의 감소를 보여주었다.

그러나 지식생성식 학습을 경험한 생성 집단은 분류 과정에서 제시된 범주만을 이해하는 분류범주 이해형 과제를 수행할 경우 학습경험 전후에 아무런 의미 있는 두뇌활성 패턴 변화가 나타나지 않았다(Table 3).

즉, 동일한 분류 내용일지라도 범주생성형으로 학습하게 되면 범주이해 사고에 대해 학습자의 두뇌에는 전-후에 큰 변화가 없게 된다는 것을 의미한다.

분류범주를 이해하는 사고는 사전에 언어적으로 전달된 분류 규칙을 단기 기억에 저장했다가 나뉘어있는 분류범주의 현상을 관찰하고 수용하는 형태이다. 이 연구에서는 반복적으로 이러한 형태의 학습경험을 가진 이해반 학생들에게서만 두뇌 수준 변화가 나타났다. 특히, 분류범주 생성의 사고에서와는 달리, 이 집단에서는 대뇌 피질 영역들에서만 활성 증가가 나타났는데 이것은 선언적 지식을 기반으로 하는 추상적 규칙의 표상과 대입 그리고 작업기억의 운용 때문이다. 이러한 형태의 분류학습이 지속되면, 학생들은 COVIS 모델의 다중시스템 중 피질계를 중심으로 하는 언어시스템 혹은 규칙기반시스템(rule-based system)의 우

세성이 강해지게 된다(Nosofsky *et al.*, 1994).

반면 활성이 약해지는 영역에 해당하는 우측 전두피질부는 언어적 작업기억(verbal working memory)의 한시적 유지에 해당하는 역할을 종종 수행하는 것으로 알려져 있다(Tsukiura *et al.*, 2001). 따라서 추상적 지식인 언어적 분류규칙인 범주를 제시받고 이를 단기적으로 작업기억에 유지해야 하는 분류범주 이해형 사고에서 이 영역의 활성은 매우 중요하다. 이 연구에서 이해반 학생들의 우측 전두피질부 활성 감소는 반복적인 범주이해 연습으로 인한 신경효율성 증가에 기인한 것으로 볼 수 있다.

또한 지식이해형 사고에서의 활성 패턴을 살펴보면 생성식으로 교육받은 학생들은 큰 변화가 나타나지 않고 있다. 이것은 선행연구들이 언급하고 지적한 바와 같이 탐구식으로 학습한 것이 지식 자체를 수용하는 부분에 있어서는 큰 효율을 나타내지 못하고 있음을 두뇌 수준에서 재확인 시켜주고 있는 것이다. 실제로 학교 교육에서 교과서 지식의 이해를 위해서는 탐구식 수업보다 강의설명식 수업이 더 많이 선호되는 현상이 이러한 주장을 뒷받침해준다.

마지막으로, 지식이해형 과제의 수행에서는 기저핵이나 변연계와 같은 어떠한 연합 영역의 활성도 없었다. 이는 생성 집단과 이해 집단 모두 동일한 현상이다. 뿐만 아니라, 이해 집단 학생들이 분류범주의 생성을 위한 사고를 수행할 때도 나타난 현상이었다. 대뇌 기저핵은 도파민을 중심으로 보상계(reward system)를 형성하여 행동의 동기와 목적을 부여하는 역할을 수행하고 있고, 변연계는 우리의 감정을 관장하는 역할을 담당하고 있다(Rosenzweig *et al.*, 2005). 이와 같은 영역들의 활성은 해당 학습이 얼마나 즐거우며, 다음에도 계속하고 싶어지는지에 대한 동기부여의 핵심이다. 따라서 이 부분의 지속적인 활성 결여는 학생들로 하여금 해당 수업을 지루하고 하기 싫은 것으로 여기도록 만들게 된다. 실제로 학교 현장에서 실제 과제를 수행할 때 보다 강의설명식 수업이 진행될 때 줄고 있는 학생이 더 많은 현상이 이러한 설명을 지지해주는 증거이다.

IV. 결론 및 교육적 적용

지금까지 교사의 교수-학습 방식(지식생성형 vs. 지식이해형)이 학생의 분류능력에 관련된 두뇌 수준

의 변화에 어떤 영향을 미치는지에 대해 fMRI를 이용하여 알아보았다. 이 연구의 결과를 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

과학수업에서 교수-학습 형태의 차이는 학생들의 분류 능력 발달과 그에 따른 두뇌활성 변화에서의 차이를 야기한다고 할 수 있다. 연구결과에 따르면, 학생들이 어떤 형태의 수업을 받았는가에 따라 사후에 두뇌활성이 증가 혹은 감소되는 패턴은 다르게 나타났다. 분류 범주의 생성 과제 수행에서 생성식 학습 집단은 교수-학습 경험 후 대뇌피질 영역과 기저핵 영역이 함께 증가되었으며, 선택-갈등과 관련된 전두피질 영역과 해마옆이랑의 활성감소가 나타났다. 반면 이해식 학습 집단은 의미 있는 활성변화가 나타나지 않았다. 반면, 분류범주의 이해 과제 수행에서 이해식 학습 집단은 교수-학습 경험 후 대뇌피질 영역과 해마옆이랑의 활성증가가 있었으며, 우측 전두피질부와 소뇌의 활성 감소가 있었다. 이와 같은 사실은 교사의 지속적인 교수방식에 의해 학생이 경험하는 학습양식은 이와 관련된 학생의 특정 두뇌 시스템을 자극하고 이를 강화 혹은 약화 시킬 수 있게 된다는 것을 의미한다.

이와 같은 맥락에서 본다면, 현재 우리가 학교에서 가르치고 있는 분류의 학습이 어떤 형태인지 고려해 볼 필요가 있다. 결과에서 알 수 있듯이 분류는 절차적 지식과 선언적 지식을 함께 필요로 하는 탐구기능이다. 또한 이들 두 지식은 두뇌의 서로 다른 영역과 시스템을 사용하고 있다. 따라서 우리는 이들 두 지식 체계와 기능이 학생들에게 모두 잘 발달될 수 있는 형태로 교수-학습을 제공하여야 할 것이다. 예를 들어 봄에 학교 주변 화단에 날아드는 나비들을 관찰하고 이를 분류할 경우, 자신만의 기준으로 분류범주를 생성해 보도록 유도하면 그들의 두뇌는 COVIS 모델에서의 두 시스템 - 즉, 피질과 기저핵 시스템이 모두 잘 발달될 것이다. 그러나 교사가 자신의 지식 기반 분류범주 혹은 책에 제시된 과학자들의 연구 기반 분류범주를 선언적 지식의 형태(개념)로 학생들에게 제공한다면 그 학생들은 두뇌의 한쪽 시스템(피질계)만이 편향적으로 발달할 것으로 예측할 수 있다. 이때, 암묵시스템의 중추인 기저핵 영역 시스템의 미발달은 자기 스스로 규칙을 만들거나 분류대상의 복잡성이 증가할수록 학생들로 하여금 분류가 지루하고 힘든 것으로 느끼게 만든다. 또한 기저핵 시스템은 규칙과

범주를 복수로 생성하거나 전환할 때 중요한 역할을 하는데, 지식이해형 학습에 길든 학생들에게 수업에서 암기한 범주를 벗어나는 실제 사례를 범주화 하는데 큰 어려움을 갖게 될 것이다. 즉, 지식의 적용능력이 약해지게 되는 것이다.

이 연구의 결과는 앞으로 새로운 과학 교육과정을 만들거나 교재를 구성할 때 혹은 교수-학습 전략을 개발할 때 기존의 추상적인 교육이론들에서 언급하는 것과는 차별화된 실증적인 두뇌-맞춤형(brain-compatible)의 대안을 제시해 줄 수 있을 것이다. 또한 이러한 분류에 관한 두뇌-맞춤형 교수학습은 자라나는 학생들의 대뇌피질계 시스템뿐만 아니라 기저핵 영역 시스템의 발달도 함께 도와줄 수 있을 것으로 기대 된다.

국문 요약

이 연구의 목적은 교사의 교수-학습 방식(범주생성형 vs. 범주이해형)이 학생의 분류능력에 어떤 영향을 미치는지를 두뇌 수준에서 규명하는 것이다. 이를 위해 대학교에 재학 중인 24명의 건강한 오른손잡이 학생들이 이 연구에 참여하였다. 이들은 생성 집단과 이해 집단의 두 집단으로 나뉘어 12주간의 서로 다른 학습프로그램을 체험하였다. 연구 참여자들의 과제수행 과정에서의 두뇌활성을 측정하기 위하여 학습프로그램 경험 전후에 fMRI 측정과 지필 검사를 실시했다. 연구결과에 따르면, 분류범주생성 과제의 수행에서 생성집단은 교수-학습 경험 후 대뇌피질 영역과 기저핵 영역이 함께 증가되었으며, 선택-갈등과 관련된 전두피질 영역과 해마옆이랑의 활성화가 나타났다. 반면 이해집단은 의미 있는 활성화변화가 나타나지 않았다. 분류범주이해 과제의 수행에서는 이해집단이 교수-학습 경험 후 대뇌피질 영역과 해마옆이랑의 활성화증가가 있었으며, 우측 전두피질부와 소뇌의 활성화가 있었다. 이와 같은 사실은 특정 교수-학습 양식에 의해 학생이 경험하는 학습양식은 이와 관련된 학생의 특정 두뇌 시스템의 발달을 강화 혹은 약화시킬 수 있게 된다는 것을 보여준다. 아울러 이러한 연구결과는 두뇌 맞춤형 과학적 분류 학습프로그램 개발을 위한 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어: 교수-학습 양식, 분류, 지식생성, 지식이해, 두뇌맞춤형 학습, 기능성자기공명영상

참고 문헌

- 권용주, 이준기 (2007). 생물학자와 고등학생의 생물학 가설 생성에서 나타나는 두뇌 활성화: fMRI 연구. *한국생물교육학회지*, 35(4), 601-610.
- 권용주, 이준기, 이일선 (2007). 꽃가루 분류에서 과학교사들이 생성한 분류지식의 분석을 통한 분류능력지수 산출식의 개발. *중등교육연구*, 55(3), 21-43.
- 권용주, 정진수, 박윤복, 강민정 (2003). 선언적 과학 지식의 생성 과정에 대한 과학철학적 연구 - 귀납적, 귀추적, 연역적 과정을 중심으로 -. *한국과학교육학회지*, 23(3), 215-228.
- 권용주, 정진수, 이준기, 이일선 (2008). 과학적 탐구사 고력 향상을 위한 과학지식의 생성과 평가. 서울: 메이드.
- 김수미, 정영란 (1997). 항상성, 동·식물 분류, 식물의 양분생산에 대한 학생의 개념 조사와 오개념 형성 원인으로써 교사 요인의 분석. *한국과학교육학회지*, 17(3), 261-271.
- 박경화 (2003). 제7차 교육과정에 의한 고등학교 생물 II 교과서의 동물분류단원에 대한 분석. *한국생물교육학회지*, 31(2), 157-169.
- 심재호, 정완호 (1996). 식물 분류 개념에서 중학생들의 심리적 위계에 따른 수업효과. *한국생물교육학회지*, 24(2), 199-209.
- 장지은, 이길재, 김성하, 김희백 (2005). 과학 창의성 향상을 위한 고등학교 생물 분류 단위 수업 프로그램의 개발과 적용. *한국생물교육학회지*, 33(4), 505-516.
- 정완호, 허명, 차희영 (1999). 한국 초, 중, 고등학교 학생들의 식물분류 개념에 관한 연구. *한국과학교육학회지*, 11(1), 25-36.
- 조은미, 김수일, 정진수, 권용주 (2005). 생물 계통수 생성의 사고 과정 모형 개발. *한국생물교육학회지*, 33(1), 13-22.
- 주정은, 차희영 (2007). 관찰에 의한 분류하기 탐구능력 평가 준거 개발. *초등과학교육*, 26(4), 407-417.
- 최현동, 양일호, 권치순 (2006). 초등학교 6학년의 인공자극과 자연자극에 대한 분류사고. *한국과학교육학회지*, 26(1), 40-48.
- AAAS (1990). *SAPA II*. New Hampshire: Delta Education, Inc.
- Amodio, D. M., Jost, J. T., Master, S. L., & Yee, C. M. (2007). Neurocognitive correlates of

liberalism and conservatism. *Nature neuroscience*, 10, 1246 – 1247.

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

Ashby, F. G. & Maddox, W. T. (2005). Human Category Learning. *Annual Review of Psychology*, 56, 149–178.

Ashby, F. G., Alfonso-Reese, L. A., Turken, A. U., & Waldron, E. M. (1998). A neuropsychological theory of multiple systems in category learning. *Psychological Review*, 105(3), 442–481.

Byeon, J. H., Lee, J. K., & Kwon, Y. J. (2009). Brain activation pattern and functional connectivity network during classification on the living organisms. *Journal of Korean Association for Science Education*, 29(7), 751–758

DeGutis, J. & D'Esposito, M. (2009). Network changes in the transition from initial learning to well-practiced visual categorization. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3(44), 1–13.

Gendron, R. P. (2005). The classification & evolution of Caminalcules. *The American Biology Teacher*, 62(8), 570–576.

Grossman, M., Smith, E. E., Koenig, P., Glosser, G., DeVita, C., Moore, P., & McMillan, C. (2002). The neural basis for categorization in semantic memory. *Neuroimage*, 17, 1549–1561.

Haier, R. J., Siegel, B. V., MacLachlan, A., Soderling, E., Lottenberg, S., & Buchsbaum, M. S. (1992). Regional glucose metabolic changes after learning a complex visuospatial/motor task: A positron emission tomographic study. *Brain Research*, 570, 134–143.

Honey, J. N. & Paxman, H. M. (1986). The importance of taxonomy in biological education at advanced level. *Journal of Biological Education*, 20(2), 103–111.

Inhelder, B. & Piaget, J. (1964). The early growth of logic in the child. W. W. Norton & Company, Inc.

Jiang, X., Bradley, E., Rini, R. A., Zeffiro, T., VanMenter, J., & Riesenhuber, M. (2007). Categorization training results in shape- and category-selective human neural plasticity. *Neuron*, 53, 891–903.

Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H. & Jeong, J. S. (2009). Changes in brain activation induced by the training of hypothesis generation skills: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 69, 391–397.

Magulis, L. (1981). How many kingdom? Current views of biological classification. *The American Biology Teacher*, 43, 482–489.

Mizuno, K., Tanaka, M., Ishii, A., Tanabe, H. C., Onoe, H., Sadato, N. & Watanabe, Y. (2008). The neural basis of academic achievement motivation. *Neuroimage*, 42, 369–378.

Nosofsky, R. M., Gluck, M. A., Palmeri, T. J., McKinley, S. C., & Glauthier, P. (1994). Comparing models of rule-based classification learning: A replication and extension of Shepard, Hovland, and Jenkins (1961). *Memory & Cognition*, 22, 352–369.

Poldrack, R. A., Prabhakaran, V., Seger, C. A., & Gabrieli, J. D. E. (1999). Striatal activation during acquisition of a cognitive skill. *Neuropsychology*, 13(4), 564–574.

Rosenzweig, M. R., Breedlove, S. M. & Watson, N. V. (2005). *Biological psychology: an introduction to behavioral and cognitive neuroscience*, 4thEd, Sinauer associate, Inc.

Tsukiura, T., Fujiib, T., Takahashia, T., Xiaoa, R., Inase, M., Iijima, T., Yamadori, A., & Okuda, J. (2001). Neuroanatomical discrimination between manipulating and maintaining processes involved in verbal working memory; a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 11, 13–21.

Zhang, J. X., Leung, H. C. & Johnson, M. K. (2003). Frontal activations associated with accessing and evaluating information in working memory: an fMRI study. *NeuroImage*, 20, 1531–1539.