

## 동기에 대한 신경교육학적 접근: 동기과정의 재개념화\*

김 성 일\*\*

고려대학교 교육학과 두뇌동기연구소(bMRI)

---

### 〈요 약〉

---

신경과학의 급속한 발전으로 인해 다양한 심리적 현상에 대한 분석수준에서의 근본적인 변화가 일어나고 있다. 이 논문에서는 인지신경과학, 정서신경과학, 사회신경과학, 발달신경과학 및 신경경제학 분야의 연구결과를 토대로 인간의 동기를 동기과정으로 재개념화하여, 교육적 함의가 큰 청소년의 동기에 초점을 맞추는 신경교육학적 동기과정 모형을 제안하고자 한다. 동기과정 모형에서는 동기를 역동적인 과정으로 간주하여 동기가 유발되고, 유지되고, 조절되는 일련의 세부과정으로 이해한다. 동기유발 과정은 보상에 대한 접근과정으로, 동기유지 과정은 긍정적 보상예측오류에 의한 학습과정으로, 동기조절 과정은 부정적 보상예측오류에 따른 인지적 조절 과정으로 각각 구분하여 설명하였으며, 이에 대한 신경과학적 근거와 교육적 시사점을 함께 제시하였다.

**주제어** : 동기, 신경교육학, 동기과정, 동기유발, 동기유지, 동기조절, 보상, 학습, 보상예측오류

---

---

\* 이 연구는 2008년도 LG연암문화재단의 교수해외연구 지원에 의해 수행되었음.

\*\* 교신저자, sungkim@korea.ac.kr

## I. 서 론

인간의 생물학적 동기를 설명하기 위한 이론들이 제시된 이래로 동기와 관련된 다양한 현상을 이해하기 위한 심리학 연구는 꾸준히 계속되어 왔다. 동기현상을 설명하는 대표적인 심리학 이론으로는 추동감소이론, 강화이론, 욕구이론, 성취동기이론, 귀인이론, 자기효능감이론, 자기결정성이론, 기대-가치이론, 성취목표이론, 흥미이론, 자기조절이론 등을 들 수 있다. 이러한 동기이론의 설명 덕분에 복잡한 인간 동기에 대한 이해가 높아진 것은 분명하지만 기존 동기이론의 근본적인 한계를 보완하려는 새로운 접근 역시 필요한 시점이다.

기존 동기연구의 제한점은 세 가지로 요약할 수 있다. 우선 동기 개념의 모호함을 들 수 있다. 추동(drive), 욕구(need), 의도, 욕망, 유인가, 의욕, 이유, 목표, 의지, 가치 등의 개념과 동기와의 명확한 구분이 어렵다. 그 결과 동기의 개념적 정의에 대한 합의를 도출하기 어려울 뿐만 아니라 동기가 특정 심리적(인지적, 정서적) 상태를 지칭하는지 아니면 심리적 과정을 일컫는지조차 불분명하다. 또한 각 이론에 포함된 많은 동기 구인들이 개념적으로 상호 중복되어 오히려 혼동을 초래하고 있다. 예를 들어, 내재동기와 흥미, 자기효능감과 지각된 유능감, 가치와 보상, 자기조절과 의지 등의 개념적 구분이 명확하지 않은 탓에 동일한 현상에 대한 연구들 간의 효율적인 의사소통과 발전적 논박이 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

두 번째 제한점으로는 포괄적 동기이론의 부재이다. 비록 동기현상에 관한 여러 가지

이론이 제안되기는 하였으나, 각 이론은 동기와 관련된 단편적인 부분만을 산발적으로 다루고 있어 동기과정이라는 전체를 이해하는 데에는 근본적인 한계가 있다. 동기에 관한 통일된 대형 이론이 없다는 것은 동기현상에 대한 간명한 설명을 어렵게 할 뿐만 아니라, 동기의 유발에서 유지와 조절에 이르는 전 과정의 유기적 관계에 대한 이해 역시 어렵게 한다.

셋째는 동기의 측정문제이다. 동기의 직접적 지표로는 행동의 선택여부, 행동의 빈도와 지속정도, 행동유지를 위해 투자하는 시간과 노력 정도가 있다. 이러한 행동 측정치는 장기적인 관찰을 통해 객관적으로 수집할 수도 있으나 현실적인 어려움 때문에 대부분의 경우 행동 측정치와 상관이 높은 심리적 구인을 자기보고식 설문지를 통해 측정하는 것으로 대신한다. 그러나 동기현상의 많은 부분이 암묵적이고 역동적이므로 자기보고에 의존하는 동기 측정은 의식적인 회상이 가능한 동기만을 제한적으로 다루는 셈이다.

동기에 관한 상당한 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고, 앞서 언급한 제한점으로 인해 교육장면이나 직장에서 이러한 연구결과를 적용할 만큼의 실제적인 효과는 거두지 못하고 있다. 동기유발과 동기증진 프로그램의 개발이 이루어지기 위해서는 다양한 측정치를 이용하여 동기 현상에 대해 명료한 개념적 정의를 내리고 이들을 통합하는 포괄적 모형의 제시가 필요하다. 최근 들어 급격하게 발전하고 있는 뇌영상 기술을 이용하여 뇌활성화 패턴을 측정하는 방법은 이러한 한계를 극복할 수 있는 보완적인 측정치라 할 수 있다. 실제 과제를 수행하고

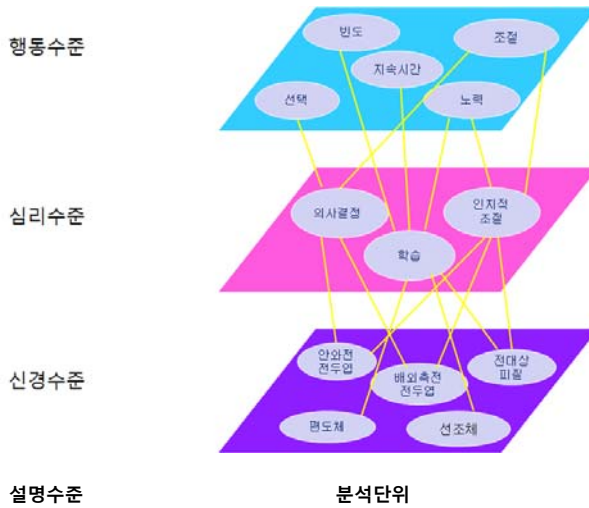
있는 동안 학습자의 뇌에서 발생하고 있는 변화를 탐지함으로써 역동적이고 암묵적인 동기를 보다 잘 이해할 수 있을 것으로 기대된다.

이 논문에서는 인지신경과학, 정서신경과학, 사회신경과학, 발달신경과학, 신경경제학 분야에서의 수렴적 증거를 토대로 하는 신경교육학적(neuroeducational) 접근을 통해 인간의 동기를 동기과정(motivational process)으로 재개념화하는 포괄적인 동기모형을 제안하고자 한다. 신경교육학이란 신경과학 및 인지과학적 연구방법을 통해 아동과 청소년의 다양한 학습과 발달과정을 이해하려는 학제간 융합분야를 말한다. 신경교육학에서는 인지적, 사회적, 정서적 기술을 학습하는데 필요한 신경 네트워크를 파악하고, 이러한 네트워크가 어떻게 발달하며 개인의 특성에 따라 달라지는지를 연구한다. 나아가 다양한 유형의 학습을 증진시키는데 필요한 학습전략, 교수방법, 학습자료, 중재프로그램, 교육과정 등을 개발하고 이들의 효과를 검증함으로써 최적의 학습환경을 제공하는 것을 궁극적인 목표로 삼고 있다(Kim, in press). 따라서 동기과정에 관한 신경교육학적 접근은 학습상황에서 발생할 수 있는 암묵적이고 역동적인 학습동기의 유발, 유지 및 조절과정에 관한 신경과학적 근거를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

하나의 현상을 이해하는 데에는 다양한 수준의 분석과 설명이 존재할 수 있으며, 분석단위에 따라 설명수준이 달라진다. 동일한 현상에 대한 다양한 설명수준에서 수렴적 증거를 제공할수록 현상에 대한 이해가 보다 정확해질 가능성이 높다(도경수, 박창호, 김성일, 2002). 동기현상을 이해하는

데에도 미세한 분자수준에서부터 거시적인 사회문화 수준에 이르기까지 다양한 분석단위와 설명수준이 존재한다. [그림 1]에서와 같이 분석단위의 미세한 정도에 따라 신경계 수준, 심리적 수준, 행동수준 등으로 구분할 수 있다.

신경계 설명수준에서는 동기현상을 강화 학습과 관련된 도파민계의 선조체 영역, 가치판단 및 의사결정과 관련된 전전두엽 영역, 그리고 집행기능(executive function) 및 인지적 조절과 관련된 전대상피질 및 배외측 전전두엽 영역 등의 기능으로 설명할 수 있다. 반면 행동수준에서의 분석단위로는 행동의 빈도와 지속시간, 노력정도, 접근과 회피의 선택행동, 조절행동 등을 들 수 있다. 동기현상에 관한 대표적 설명수준은 주로 심리적 수준의 설명으로 보상, 기대, 가치, 욕구, 목표, 귀인, 유능감, 흥미, 내재동기, 자기조절 등의 심리적 구인을 주요 분석단위로 간주해 왔다. 그러나 이러한 심리적 구인들은 개념간의 구분이 명료하지 않을 뿐만 아니라, 신경계의 분석단위들과는 잘 상응되지 않는다는 문제점이 있다. 최근 신경과학의 급속한 발전으로 인해 생물학적 근거가 부족한 심리적 구인은 그 타당성을 위협받는 등 심리수준에서의 근본적인 재개념화가 활발하게 일어나고 있는 추세이다. 따라서 이 논문에서는 심리적 수준의 분석단위를 신경계 수준의 분석단위와 일치하는 가치판단 및 의사결정, 학습, 인지적 조절(cognitive control) 등으로 재개념화하고 세 가지 설명수준을 통합하는 신경교육학적 동기과정 모형을 제안하고자 한다. 동기과정 모형에서는 동기를 역동적인 과정으로 간주하여 동기가 유발되고, 유지되고, 조절되는



(그림 1) 동기현상에 대한 설명수준과 분석단위

일련의 세부과정으로 이해하며, 동기유발 과정은 보상에 대한 접근과정으로, 동기유지 과정은 긍정적 보상에측오류에 의한 학습과정으로, 그리고 동기조절 과정은 부정적 보상에측오류에 따른 인지적 조절 과정으로 설명한다.

## II. 동기유발: 보상에 대한 접근과정

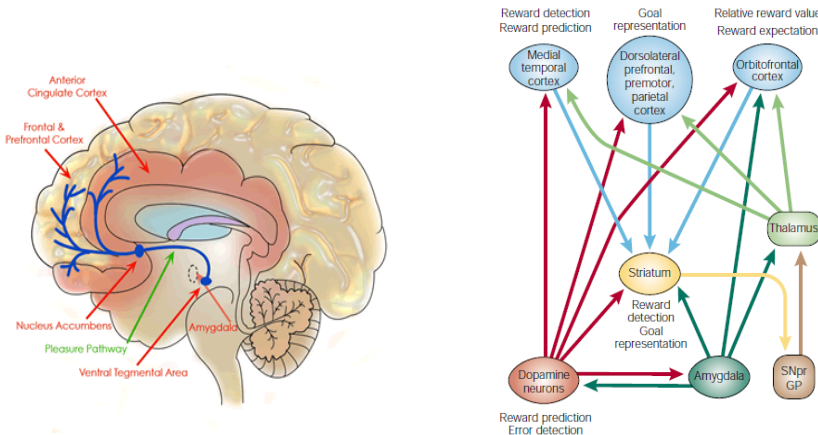
### 1. 보상의 역할

동기와 직접적으로 관련된 가장 강력한 변인은 보상이다. 보상체계의 주요 기능은 유기체로 하여금 긍정적 정서를 유발하여 접근행동을 유도하고, 목표행동의 빈도를 증가시켜 행동의 소거를 막는 것이다 (Schultz, 2004). 그 결과 유기체는 보상을 예측하는 단서에 주의를 집중하여 특정 자극과 보상의 연합을 학습하게 될 뿐만 아니라, 보상의 가치를 부호화하여 지속적인 보

상을 얻기 위한 접근이나 회피 행동을 결정한다.

일차적 보상은 생존에 필수적이어서 모든 종들은 자동적으로 보상에 접근하도록 프로그래밍되어 있다. 그러나 보상을 경험하고 난 후에 이를 학습하는 과정과 미래의 보상을 획득하기 위한 선택행동까지 고려하면 보상 처리는 단순한 과정이 아니다. 즉 보상의 처리과정에는 보상의 가치를 부호화하는 과정, 보상을 기대하는 과정, 보상과 행동을 연합하는 과정, 보상을 얻기 위한 계획과 그에 대한 평가 과정 그리고 보상의 상대적 가치를 비교하고 업데이트하는 등의 일련의 복잡한 과정이 관련되어 있다. 따라서 이러한 세부과정을 포함하는 보상처리 기제에는 다양한 뇌 영역이 연결되어 관여할 수밖에 없다.

보상과 관련된 주요 뇌영역은 일명 보상 회로라고 알려진 중뇌피질 변연계(meso-cortico limbic) 도파민 경로이다(그림 2 참조). 도파민은 복측 피개부위(ventral tegmental area,



(그림 2) 보상과 관련된 주요 뇌 영역 및 보상회로(Schultz, 2000)

VTA에서 만들어져 담창구(globus pallidus)를 거쳐 선조체(striatum)에 있는 측중격핵(nucleus accumbens; NAcc)으로 전달된다. 이 경로는 복측 피개부위의 신경세포들이 측중격핵을 비롯하여 중격, 편도체(amygdala) 및 해마와 연결되어 있는 중뇌변연계 도파민계와 내측 전전두엽 대상피질과 후각주위(perirhinal) 피질이 연결되어 있는 중뇌피질 도파민계로 나누어진다. 중뇌변연계 도파민계의 기능은 보상을 탐지하거나 학습하는 반면, 중뇌피질 도파민계는 목표를 표상하고 보상의 상대적 가치를 부호화하는 역할을 하며, 이 영역들이 파괴되면 보상추구 행동을 멈추게 된다.

다양한 보상 자극을 이용한 연구에서 보상과 관련된 뇌영역으로 일관되게 보고되는 주요 영역은 안와전두피질(orbitofrontal cortex, OFC), 편도체 및 측중격핵이다. 이외에도 배외측 전전두피질(DLPFC), 내측 전전두피질(MPFC), 전대상피질(ACC) 등의 영역도 보상과 관련이 있는 것으로 보고되고 있으나, 이들 영역의 주요 기능은 목표달성을 위해

보상과 관련된 정보를 집행기능에 활용하는 것에 가깝다(Walter, Abler, Ciaramidaro, & Erk, 2005). OFC-편도체-측중격핵 체계는 음식이나 성적 자극 등의 일차적 보상뿐만 아니라 돈과 같은 이차적 보상과 매력적인 얼굴이나 협동 등의 사회적 보상에도 반응한다(Aharon et al., 2001; Arnow et al., 2002; Kringelbach et al., 2003; Rilling et al., 2002). 동기적 추동(drive)과 관련이 깊은 측중격핵은 쾌락추구로도 알려져 있으며, 다양한 종류의 보상을 받거나 보상을 기대할 때 활성화된다. 좋아하는 자극을 얻거나 좋아하는 활동에 몰입할 때, 담배를 피우거나 농담을 들었을 때, 심지어는 사랑하는 감정을 느꼈을 때에도 측중격핵이 활성화 된다(Aharon et al., 2001; Aron et al., 2005; Mobbs et al., 2003). 한편 공포조건형성이나 부정적 자극에 반응하는 것으로 알려진 편도체는 자극의 유의성(valence)에 상관없이 자극의 강도에 반응한다는 연구결과도 있다(Anderson et al., 2003; Small et al., 2003).

생물학적 일차적 보상의 경우, 측중격핵

을 포함한 복측 선조체에서 기초적인 평가를 통해 행위-결과의 가치 연합을 형성한다. 그러나 일차적 보상과 조건형성된 이차적 보상의 경우에는 OFC에서 보상의 연합적 특성을 계산하여 그 가치를 부호화하고 이를 추후 의사결정시 활용한다. OFC는 가치 판단의 기능을 담당하는데 내측 OFC는 보상에 민감한 반면 외측 OFC는 처벌에 민감하게 반응한다(O'Doherty et al., 2003). Tremblay와 Schultz (1999)는 OFC가 보상의 절대적 가치에 대해 반응하는 것이 아니라 보상의 상대적 가치를 계산하여 선호도가 높은 보상에만 반응한다는 것을 밝혔다. 이러한 연구결과는 보상이 지극히 주관적이고 상대적이므로 개인적 특성과 상황을 초월하는 보편적인 보상은 없다는 Premack의 원리와 일치한다.

사회인지신경과학 분야의 연구들은 사회적 보상이 물리적 보상과 동일한 뇌영역을 활성화 시킨다는 것을 밝혀냈다(Lieberman & Eisenberger, 2009). 즉, 명성, 공정함, 협동, 이타적 행동 등의 사회적 보상은 신체적 쾌락을 느낄 때 활성화되는 보상관련 네트워크를 활성화시킨다. 또한 따돌림, 부당한 대우, 사회적 비교 등의 사회적 혐오자극 역시 신체적 고통과 관련된 뇌신경망을 활성화시킨다. 이러한 연구결과가 시사하는 바는 사회적 강화와 처벌의 효과가 물리적 보상이나 신체적 고통만큼 강력하다는 점이다. 현재 학교현장에서 빈번하게 발생하고 있는 따돌림, 성적공개, 경쟁, 차별, 처벌 및 벌점제도가 학생들의 뇌에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고 이들의 부작용을 최소화하는 방안을 개발하여 그 효과성도 뇌영상 연구를 통해 검증해 볼 수 있을 것이다. 실

제로 KIm, Lee, Chung과 Bong(2010)은 과제 수행 후 제공되는 부정적 피드백이 상대평가와 절대평가 방식으로 제시될 때의 뇌활성화를 비교하였다. 그 결과 유능감이 낮은 학습자는 상대평가시에 부정적인 정서를 담당하는 뇌영역이 활성화되는 것으로 나타났다. 한편, 칭찬, 격려, 지지, 공감, 협동, 도움행동, 공정함 등의 사회적 자극과 맥락이 학생들의 보상중추를 활성화시키는지를 살펴보는 신경교육학적 연구를 수행하고, 보상중추의 활성화를 지속적으로 경험할 수 있는 학습환경을 설계하여야 할 것이다.

보상과 관련된 중요한 심리적 구인이 내재동기와 외재동기이다. 그렇다면 과연 외재동기와 내재동기의 구분이 생물학적으로 가능한가? 내재동기가 외재동기와 독립적인 상태라면 각기 상이한 신경상관이 존재할 것으로 추론해 볼 수 있지만, 현재까지 이를 지지하는 신경과학적 증거는 없다. 사람들은 저마다의 가치체계를 가지고 있으므로 대상이나 자극에 가치를 부여하는 일은 지극히 주관적인 계산과정이다. 따라서 행동의 결과가 초래하는 보상이 물질적인 가치를 지니는 경우도 있고 행동자체의 내재적 가치가 높은 경우도 있다. 두 가지 가치를 모두 가지고 있는 경우도 얼마든지 가능하며 아마도 이 경우가 현실적으로 더 보편적이라고도 할 수 있다. 조건형성 되지 않은 내재적 가치란 지극히 예외적인 경우이므로 보상의 원천이 내부인지 아니면 외부인지는 가치의 계산에 있어서는 별다른 의미를 지니지 못하는 것으로 생각된다.

사람들은 바람직한 결과를 얻기 위해 동기유발된 행동을 수행하기도 하지만 부정적인 결과를 피하기 위해서도 행동한다. 그러

나 선택행동의 결과가 불확실한 상황에서는 보상을 극대화하기 위해 자신의 이전 선택이나 전략을 고집할 것인지 아니면 새로운 대안이나 전략을 모색해야 하는지를 고민하게 된다. 이러한 상황을 활용(exploitation)과 탐색(exploration) 딜레마라 부른다. 이전 경험에 기초하여 습관적인 의사결정을 하는 활용적 학습의 경우에는 선조체와 내측 전전두엽이 관여하는 반면, 새로운 대안을 모색하는 탐색적 의사결정에서는 가치에 대한 판단과 추론을 담당하는 전두극피질(frontopolar cortex)과 두정간구(intraparietal sulcus)가 활성화 되는 것으로 나타났다(Daw et al., 2006). 즉 접근행동은 선조체에서 회피행동은 편도체에서 각각 담당하지만, 접근행동과 회피행동의 조절은 전전두엽에서 담당한다. 뇌발달 연구에 따르면, 청소년기에는 보상에 민감한 측중격핵의 발달이 급속도로 일어나지만, 위험을 알리는 영역인 편도체가 비교적 느리게 발달하며, 행동조절의 역할을 담당하는 전전두엽의 발달은 가장 늦게 일어난다(Casey, Getz, & Galvan, 2008; Ernst, Pine, & Hardin, 2005). 따라서 청소년기에는 탐색보다는 활용에 가까운 행동 패턴을 보일 가능성이 높다. 이러한 청소년기의 불균형적 대뇌 발달은 청소년기의 두드러진 행동 특성인 충동적 행동, 감각추구 행동 및 위험추구 행동을 잘 설명한다.

보상에 대한 민감성 정도를 살펴본 연구에서 보상을 받는 동안에는 성인에 비해 청소년의 측중격핵 활성화 정도가 큰 것으로 나타난 반면(Ernst & Frudge, 2009; Galvan et al., 2006), 보상을 기대하는 동안에는 성인의 측중격핵 활성화가 더 큰 것으로 나타났다(Bjork et al., 2004). 또한 성인의 경우에는

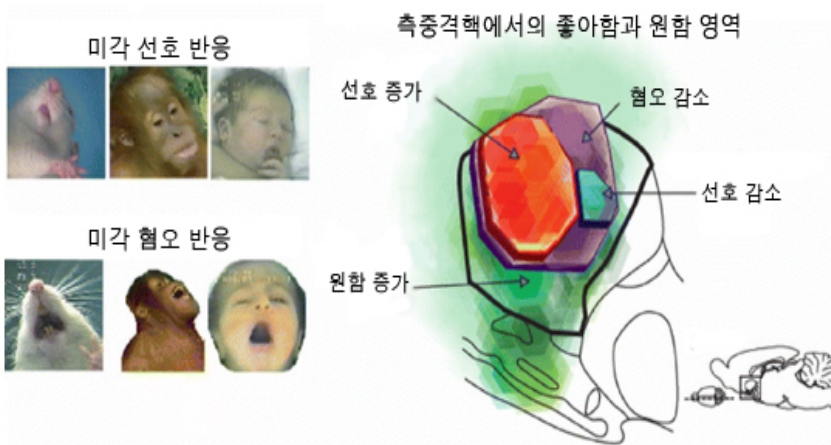
기대했던 보상이 주어지지 않으면 OFC가 활성화되는 것으로 나타났다(Van Leijenhorst et al., 2010). 이러한 결과는 성인의 경우 기대했던 보상이 주어지지 않을 때에는 후속 보상을 추구하기 위해 기존 가치체계를 갱신하고 있을 가능성을 시사한다. 이와 유사하게 청소년기에는 보상이나 긍정적 피드백에 대한 민감성은 높지만 처벌이나 부정적 피드백에 대한 민감성은 낮은 것으로 알려져 있다. 부정적 피드백에 대한 연령별 뇌 활성화 패턴을 비교해 보면, 8-9세 아동은 긍정적 피드백이 주어졌을 때, 11-13세 아동은 긍정적 피드백과 부정적 피드백일 때 동일하게, 18-25세 성인의 경우에는 부정적 피드백이 주어졌을 때에만 DLPFC가 활성화 되는 것으로 나타났다(Duijvenvoorde et al., 2008). 또한 부정적 피드백에 대한 뇌발달을 살펴 본 Crone 등(2008)의 연구에서도 8-11세에는 OFC에서 14-15세에는 두정엽에서 성인과 유사한 활성화 패턴을 보였으나, 전대상피질과 DLPFC의 활성화는 14-15세가 되어도 나타나지 않았다. DLPFC나 전대상피질은 인지적 조절에 관여하는 대표적 영역으로 알려져 있다(Cole & Schneider, 2007). 따라서 아동이나 초기 청소년기에 이 영역이 활성화되지 않는다는 것은 부정적 피드백을 받은 후 수행을 반성하고 대안적 전략을 탐색하는데 어려움이 있다는 것을 의미한다. 이러한 연구결과는 부정적 피드백을 통해서 아동의 행동을 변화시키려는 노력은 그다지 효과가 없을 수 있다는 점을 시사한다. 이러한 맥락에서 아동과 청소년을 위한 효과적인 피드백 제공 방식에 대한 연구가 절실하다.

## 2. 좋아함(liking)과 원함(wanting)의 구분

특정 활동에 내재동기가 있다고 해서 그 활동을 하는 동안 언제나 즐거움이 수반되는 것은 아니다. 예를 들어, 축구선수는 축구에 대한 강력한 내재동기를 가지고 있지만, 축구를 하는 동안이나 체력훈련을 하는 동안 항상 즐거울 수만은 없다. 원하는 목표를 달성하기 위해 어쩔 수 없이 수행하는 일들이 한시적으로는 괴로울 수 있지만, 스스로 선택한 목표지향적 행동은 내재적으로 동기유발되었다고 말할 수 있다. 이와 같이 순간적인 즐거움과 쾌감이 내재동기 발생의 필수 조건이 아니라는 새로운 주장이 대두되고 있다.

Berridge(2007)의 연구에 따르면, 긍정적인 정서와 내재동기는 반드시 일치하지 않으며 생리적으로 다른 기체에 의해 작동한다. 즉 특정 자극에 지속적으로 접근하는 이유가 반드시 그 자극을 좋아하기 때문은 아니라는 것이다. Berridge와 Robinson(2003)은 보상에는 좋아함의 척도인 쾌락적 가치(hedonic value)와 원함의 척도인 유인가(incentive value)가 있다고 보았다. ‘좋아함’의 상태가 자극을 처리한 후에 자극의 질을 평가한 결과라면, ‘원함’의 상태는 자극을 처리하기 전에 자극을 추구하는 능동적인 상태이다. 이때의 원함은 추동이나 욕구와 같은 욕망의 상태가 아니라 감각적 혹은 인지적 차원에서 특정 자극이 매력적인 가치를 가지게 되는 과정이다. 원함이라는 어휘의 상식적인 의미와 구분하기 위해 원함을 유인 현출성(incentive salience)이라 부르기도 한다. 즉 원함은 방향을 의미하는 것이지 강도를 의미하는 것이 아니다.

Olds와 Milner(1954)는 쥐의 측중격핵 부위에 전극을 삽입하여 쥐가 지렛대를 누르면 이 영역이 자극되도록 스키너 박스를 설계하고 쥐의 행동을 관찰하였다. 실험결과 쾌락중추로 알려진 측중격핵을 자극하기 위해 쥐는 먹이도 마다하고 지쳐 쓰러질 때까지 지속적으로 지렛대를 누르는 행동을 반복한다는 사실이 발견되었다. 과연 이 쥐가 지렛대를 누르는 행위를 좋아하였는지를 검증하기 위해 자기보고를 받는 것은 불가능하므로 새로운 측정치가 필요했다. 유아나 동물의 감정을 연구할 때 쾌·혐오 정도를 측정하는 방법은 미각에 대한 안면 반응패턴을 분석하는 것으로 이는 종에 관계없이 감정표현 측정하는 보편적인 방식으로 알려져 있다(Berridge, 2000; 그림 3 참조). 실제 코카인과 같은 약물을 통해 측중격핵을 활성화시킨 쥐의 감정 반응을 관찰해 본 결과, 쥐는 약물을 먹는 동안 혐오반응을 보이고 있는 것으로 밝혀졌다(Berridge & Valenstein, 1991). 이는 약물에 중독된 사람이 지속적으로 약물을 원하지만 약물을 좋아하는 것으로는 볼 수 없다는 것을 의미한다. [그림 3]에서와 같이 해부학적으로도 측중격핵내에서 좋아함과 원함의 영역이 구분되는 것으로 밝혀졌다(Berridge, 2003). 이러한 연구결과는 특정자극을 얻기 위해 지속적으로 행동을 계속하는 것이 반드시 쾌락을 얻기 때문만은 아니며, 좋아함을 수반하지 않는 원함이 있을 수 있다는 주장을 지지한다. 반면 원하지는 않지만 좋아하는 사례는 병변이나 약물을 통해 도파민의 분비를 억제시킨 연구에서 찾을 수 있다. 이때 보상을 원하는 행동은 나타나지 않지만 보상의 쾌락적인 효과나 보상을 좋아하는 정도에는



(그림 3) 객관적 감정반응 및 좋아함과 원함의 해부학적 구분 (Berridge, 2003)

변화가 없는 것으로 나타났다(Berridge & Robinson, 2003). 따라서 도파민은 보상추구 행동에서 자극을 원하는 데에는 결정적인 역할을 하지만 자극을 좋아하는 데에는 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

내재동기이론과 흥미이론에 따르면, 특정 행동을 할 때마다 즐거움을 느낀다면 그 행동에 대한 내재동기가 발생하였다고 볼 수 있고, 앞으로도 그 행동을 지속적으로 수행할 것이라고 예측한다. 그러나 좋아함과 원함이 생물학적으로 구분되는 기제에 의해 작동된다면, 즐거움이나 좋아함을 느껴도 원함이 발생하지 않는 한 동기가 유발되지 않는다고 예측할 수 있다. 이것이 시사하는 바는 특정 대상이나 활동을 좋아하는 상태가 바로 동기유발된 상태라 볼 수 없으며, 비록 좋아하지 않더라도 동기유발될 수 있다는 점이다. 이러한 관점에서 보면, 좋아함은 정서상태인 반면 원함은 가치판단에 해당하는 것이다. 그렇다면 동기를 유발하기 위해서는 우선적으로 대상이나 활동을 좋아하도록 하여야 한다는 주장은 신중하게 검

토해 볼 필요가 있다. 왜냐하면 쾌락이나 즐거움은 동기유발과 자동적으로 연관되어 있지 않을 수도 있기 때문이다. 따라서 좋아함이 원함으로 전환될 수 있는 있는지와 좋아함과 상관없이 동기유발이 가능한지가 중요한 문제로 남는다. 또한 바람직하지 않은 습관적인 행동에 대한 동기가 높은 경우, 이를 좋아하기 때문이라고 가정하고 이를 좋아하지 않도록 처벌을 제공하여 혐오 조건형성 시키는 것이 과연 효과적인지도 심각하게 검토해 보아야 할 문제이다.

도파민이 보상기능에 관여한다는 전통적인 가설은 근래에 수행된 새로운 연구들에 의해 강력하게 비판받고 있다. 이러한 비판의 핵심은 측중격핵 도파민계가 긍정적 강화와 관련된 쾌락을 매개하는 것이 아니라 행동의 활성화와 노력관련 기능을 담당하고 있다는 것이다(Salamone, Correa, Farrar, & Mingote, 2007). 이러한 주장을 뒷받침하는 한 연구에서 쥐의 측중격핵에서의 도파민 양을 조절한 결과, 도파민이 고갈되면 반응 시간이 느려지고 많은 노력이 필요한 과제

수행이 특히 저하되는 것으로 나타났다. 또한 도파민이 부족한 쥐는 많은 노력이 필요한 과제보다 적은 노력이 필요한 과제를 선택하는 것으로 밝혀졌다(Salamone, Correa, Mingote, & Weber, 2005). 따라서 측중격핵 도파민계의 주된 기능은 보상관련 기능이라기보다는 노력조절의 역할을 담당하는 것으로 추리할 수 있다. 노력조절에 관여되는 뇌 영역은 시상, 편도체, 전대상피질 및 전전두엽에 이르기까지 광범위한 회로를 포함하지만 측중격핵이 이들 영역과의 상호작용의 중심이 되는 영역이라 볼 수 있다.

### Ⅲ. 동기유지: 긍정적 보상에측 오류를 통한 학습과정

동기유발된 행동(접근행동과 회피행동)과 목표지향적 행동은 학습되므로 학습과 기억 과정이 관여되지 않는 동기유지란 없다. 유기체는 긍정적이거나 부정적인 결과를 초래하는 행동을 기억해 두면 적응에 유리하므로, 자극-행동-결과 연합을 학습하게 되어 습관적이고 자동적인 행동을 하게 된다. 도파민을 분비하는 세포가 많이 분포하고 있는 선조체가 기초적인 연합 학습과 동기과정에 공통적으로 관여하는 이유도 여기에 있다. 도파민은 주로 보상이나 쾌락과 관련되어 있다고 알려져 있지만, 이 밖에도 운동 혹은 조건형성이나 습관과 같은 단순한 학습에서 매우 중요한 역할을 하는 신경전달 물질이다(Wise, 2004). 도파민이 부족하면 파킨슨병에서 볼 수 있는 경직과 마비 등이 나타나며, 도파민 과다는 정신분열증을 비롯하여 충동조절장애, ADHD, 중독 등의 행

동장애를 일으킨다. 운동기능이 저하된 파킨슨병 환자에게 치료의 목적으로 도파민을 투여하면 과도한 도박, 섭식행동, 쇼핑 등의 강박적 행동이 나타나기도 한다(Dagher & Robbins, 2009). 도파민 과다로 인한 기능장애로는 우세한 운동반응을 억제하지 못하고, 손실보다는 보상에 초점을 맞추고, 성급한 결정을 내리고, 작지만 즉각적인 보상을 선호하는 등의 결함을 들 수 있다.

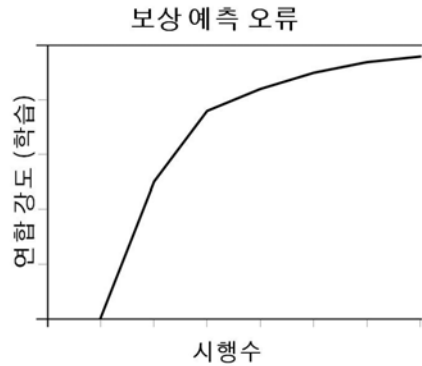
행동주의 학습이론에서 강화는 행동의 빈도를 증가시키는 결정적인 과정이다. 특정 행동의 결과로 선호자극(보상)이 수반되는 정적강화나 혐오자극(처벌)이 제거되는 부적강화는 모두 바람직한 결과를 초래하는 셈이므로, 이때 도파민의 분비가 촉진되어 목표행동이 지속적으로 유발된다. 이러한 강화는 유기체의 생존에 필수적이므로 다양한 중립자극(환경으로부터의 자극 및 심리적 상태)들과 반복적으로 연합되어 자극-행동-결과 간의 강력한 연결고리가 학습된다.

선택한 행동의 결과로 주어지는 초기의 보상은 예측하지 못하는 경우가 대부분이므로 이런 경우 보상의 효과는 극대화된다. 이처럼 기대한 보상과 실제 보상 간의 불일치를 보상에측오류(reward prediction error)라 하는데 보상에측오류가 클수록 많은 양의 도파민이 분비된다. 단일 도파민 뉴런의 반응을 살펴본 Schulz, Dayan과 Montague(1997)의 연구에서, 침팬지는 보상을 예측하지 못한 학습 초기에는 보상을 받는 동안 도파민 뉴런의 활성화가 증가하였다. 그러나 반복된 학습으로 늘 보상을 기대할 경우에는, 보상을 예측하는 단서가 주어질 때에만 도파민 뉴런이 활성화되었고 실제 보상을 받는 동안에는 도파민 뉴런이 활성화되지 않

는 것으로 나타났다. 반면 기대한 보상이 제공되지 않았을 때에는 도파민 뉴런의 활성화가 감소되었다. 이처럼 보상이나 처벌과 조건형성된 다양한 중립자극을 통해 보상을 예측하기만 해도 도파민의 분비가 촉진되어 목표행동이 발생한다는 것은 적응이라는 관점에서 보면 매우 유리한 형태의 학습이라 할 수 있다.

보상예측오류는 긍정적 보상예측오류와 부정적 보상예측오류로 구분할 수 있다 (Schultz, 2006). 기대하지 않은 보상을 받을 때에는 긍정적 보상예측오류가 발생하는 반면, 기대한 보상이 주어지지 않을 경우에는 부정적 보상예측오류가 발생하게 된다. 긍정적 보상예측오류가 클수록 놀라는 정도 역시 커지므로 최대의 학습이 일어난다. 그러나 지속적으로 보상을 받게 되면 보상에 대한 기대가 항상 만족되므로 보상예측오류가 줄어들게 되고, 따라서 학습의 효과도 더 이상 증가하지 않는 지점에 도달하게 된다. 전형적인 학습곡선을 살펴보면, 학습초기에 학습(연합)강도는 보상예측오류와 함께 증가하지만, 시행이 계속될수록 보상예측오류가 줄어들어 0에 가까워지면 점근선에 도달하여 더 이상의 학습증진이 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다(그림 4 참조). 이 상태에서는 새로운 학습을 통한 접근행동을 한다기보다는 습관적인 행동을 한 후에 주어지는 보상으로 인해 만족을 느끼기 때문에 특정 행동이 유지되고 있는 것으로 보는 것이 타당하다. 따라서 학습의 효과를 극대화하기 위해서는 새롭고 다양한 강화를 제공하여 긍정적 보상예측오류를 증가시키는 것이 중요하다.

동기와 학습의 관계를 가장 확실하게 보



(그림 4) 보상예측오류와 학습곡선 (Schultz, 2006)

여주는 예는 중독이다. 조절이 되지 않는다는 심각한 결함을 무시한 채 학습의 측면에서만 보면, 중독행동은 가장 강력하게 동기 유발된 행동이며 완전학습의 결과라 할 수 있다. 단서와 보상 간의 연합이 계속될수록 단서가 도파민계를 활성화시키는 힘은 커지는 반면, 보상 자체는 그 힘이 약해지게 된다. 단서 덕분에 보상이 미리 예상되는 경우에 뇌는 도파민의 분비를 아끼려는 보존 경향이 강하기 때문이다(Self, 2003). 그러나 알콜이나 코카인과 같은 약물의 경우는 도파민 보존 기제에 의한 정상적인 학습과정을 거치지 않고 도파민을 과도하게 분비시킨다. 그 결과 극단적 기억(extreme memory) 또는 병적학습(pathological learning)을 유도하여 약물을 언제나 새롭고 현출한 보상으로 지각하도록 만든다(Hyman, Malenka, & Nestler, 2006). 이러한 설명은 약물 중독에서 벗어나기가 힘든 이유와 오랫동안 중독에서 벗어난 경우에도 단 한 번의 사용으로 다시 중독에 쉽게 빠지게 되는 현상을 잘 설명한다. 청소년들에게 자주 발생하는 컴퓨터 중독과 같은 행동중독의 경우에도 약물중독과

매우 유사한 패턴을 보이는 것으로 알려져 있으나 자세한 기작에 관해서는 보다 체계적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

#### IV. 동기조절: 부정적 보상예측 오류에 따른 인지적 조절 과정

##### 1. 가치판단과 선택

일상생활에서 빈번하게 발생하는 무수한 접근과 회피 행동은 특정 행동을 지속할지 중단할지를 결정하거나 여러 대안 중 하나를 선택하는 행동이다. 이러한 다양한 선택행동은 모두 가치평가에 기반한 의사결정과정이라 할 수 있다. 즉, 선택행동의 결과에 대한 가치가 높다고 판단될수록 선택 가능성이 높아진다. Rangel, Camerer와 Montague(2008)는 의사결정과정에서 결정적인 역할을 하는 가치평가 체계(valuation system)를 파블로브식 체계, 습관 체계, 목표지향 체계의 3가지 유형으로 구분하였다. 파블로브식 체계는 자극의 현출성에 따른 가치를 평가하는 체계로 편도체, 측중격핵, OFC의 네트워크가 관여한다. 습관 체계는 보상에 따른 자극-반응의 연합의 가치를 평가하는데 배외측 선조체가 결정적 역할을 하며 피질-시상회로(cortico-thalamic loops)도 관여하는 것으로 알려져 있다. 마지막으로 목표지향적 체계는 행위-결과 연합을 계산하고 다른 결과와 연합된 보상을 평가하는 역할을 하며 주로 OFC와 DLPFC가 관여한다. 각 가치평가 체계의 예를 들어 보면, 파블로브식 체계에서는 특정 교과목의 가치를

평가하고, 습관 체계에서는 아침마다 영어 단어를 암기하는 행동의 가치를 평가하며, 목표지향적 체계에서는 방학 중에 집중해서 공부할 과목을 결정하는 식이다.

효율적인 선택을 위해서는 행동의 잠재적 가치와 바람직한 결과를 수반할 확률을 판단하여야 한다. 경제학과 심리학에서는 이를 기대효용(expected utility)이라고 하는데, 실제 선택이 일어나기 전에 뇌에서는 기대치의 계산을 마쳐야 한다. 보상의 크기와 확률을 조작한 실험에서, 측중격핵의 활동은 기대한 보상의 크기 및 긍정적 정서와 정적 상관성이 있었으며, 내측 전전두피질의 활동은 보상을 획득할 확률과 정적 상관성이 있는 것으로 나타났다(Knutson et al., 2005). 이러한 결과는 피질하(subcortical) 구조에서는 주로 보상의 물리적 속성과 이에 따른 정서적인 측면에 반응하는 반면, 대뇌피질에서는 보상의 발생 확률을 고려하는 고차적 계산 기능을 담당한다는 것을 의미한다. 실제로 선택의 결과가 예상 밖으로 나타나는 경우에는 다른 가능성을 고려하여 발생확률을 재계산하여야 하므로 전전두피질의 기능이 떨어지는 유아나 노인의 경우에는 이러한 과제를 어려워하는 경향이 있다.

의사결정의 핵심 영역인 OFC는 보상과 관련있는 영역 중의 하나로 알려져 있지만 단순한 보상처리에는 관여하지는 않는다. 양측 OFC가 모두 제거된 동물들도 보상을 얻기 위한 행동이 가능하고 새로운 보상을 예측하는 자극을 학습할 수 있을 뿐만 아니라, 보상과 무보상을 구분하여 선택적으로 반응하는 등 정상적인 보상처리 반응을 보이기 때문이다(Izquierdo, Suda, & Murray, 2004; Rudebeck et al., 2006). 그 대신 OFC의

주요 기능은 모든 양태의 정보들을 통합하여 선택행동의 결과를 예측하기 위한 가치를 계산하여 이를 작업기억에 표상하는 것으로 볼 수 있다(Montague & Berns, 2002). Damasio(1996)의 신체표지가설(somatic marker hypothesis)에 따르면, 의사결정을 하기 위해서 여러 행위를 평가하는 동안에 발생하는 각종 정서와 관련된 신체상태가 최종 의사결정에 영향을 미친다. 여기서 OFC의 역할은 환경패턴과 연합된 신체상태를 저장하였다가 추후 의사결정시에 저장된 신체상태를 다시금 활성화시켜 가치를 재계산하도록 하는 것이다. 실제 뇌영상 연구에서 OFC는 냄새나 소리 등의 쾌-불쾌를 유발하는 감각 자극에 대해서 뿐만 아니라 돈을 따거나 잃는 것과 같은 추상적인 보상과 처벌에 대해서도 반응하는 것으로 나타났다. 또한 OFC는 인접한 전전두엽 영역들과 밀접한 관계를 맺고 지속적으로 상호작용하여 효율적인 의사결정을 모색한다. 보다 상세하게 말하자면, OFC에서는 보상의 가치를 계산하고, DLPFC에서는 이 정보를 작업기억에 저장하여 보상을 얻기 위한 행동을 계획하고, MPFC에서는 계획 실행에 필요한 노력 정도를 평가한다(Wallis, 2007).

OFC가 손상된 사례를 살펴보면 OFC의 기능이 명확해지는데, 1848년 미국에서 철도노동자로 일하다가 강철봉이 두개골을 뚫고 들어간 Pincas Gage의 사례가 가장 유명하다. 그는 사고 이후에도 생존하여 정상적인 인지 기능을 보였으나 성격이 불손해지고 변덕스럽게 행동하는 등 사회적 관계에서 급격한 변화를 보였다. 이 사례는 OFC를 포함한 전전두피질이 사회적 기술이나 성격과 관련이 있을 가능성을 제시한 최초의 사

례로 주목 받았다. OFC가 손상된 환자는 다른 인지능력에는 결함을 보이지 않으나, 일상적인 의사결정에는 심각한 결함을 보여 충동적 행동, 강박장애, 약물중독, 섭식행동 이상 및 도박 중독 등의 행동을 보인다. 또한 이들은 정서조절에도 어려움을 보이며 후회를 잘 경험하지 않는 것으로 알려져 있다(Camille et al., 2004). 후회를 느끼기 위해서는 대안적 선택의 결과에 대한 표상이 있어야 하는데 OFC 손상환자는 이러한 기능에 문제가 있기 때문인 것으로 생각된다.

도박 과제를 수행하는 동안 OFC가 손상된 환자는 이길 확률은 낮지만 한판에 큰 돈을 딸 수 있는 위험한 선택만을 고집하여 최종적으로 돈을 모두 잃게 된다(Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994). 이러한 충동적 행동은 측중격핵과도 밀접한 관계가 있는데, OFC는 측중격핵과 긴밀하게 연결되어 있어 측중격핵의 일차적이고 즉각적인 반응을 통제하는 기능을 한다. 만약 OFC가 정상적으로 작동하지 않으면 측중격핵을 통제하기 어려워지므로 충동적인 행동이 억제되지 못하고 나타나는 것이다. 그러나 측중격핵을 통제하는 OFC의 억제적 역할 역시 가치의 계산과 표상이라는 OFC의 일반적인 기능으로 설명되어질 수 있다. 즉, 충동의 억제는 충동적 행위가 초래할 다양한 결과에 대한 종합적인 가치판단에 따른 행동의 선택이다. OFC가 정상적으로 작동하는 경우에는 미래 결과에 대해 비교적 정확한 가치판단을 하므로 단기적인 보상을 수반하는 충동적 행동보다는 장기적인 효과가 있는 억제적 행동을 선택하게 된다. 반면 OFC가 제대로 발달되지 않거나 손상된 경우에는 특정 행동의 가치에 대한 정확한 계산과 판

단이 어려우므로 충동적인 행동을 선택할 가능성이 높아진다.

OFC 손상과 관련이 깊은 또 다른 행동 특성 중 하나는 자극-반응의 역학습(reversal learning)이 어렵다는 점이다. 역학습 패러다임에서는 자극-강화물의 연합을 학습한 후, 자극과 강화의 유관이 바뀌면 이전의 반응을 변경해야 새로운 강화를 습득할 수 있다. 그러나 OFC가 손상된 원숭이는 강화를 계속 받지 못함에도 불구하고 이전에 강화를 받은 반응을 억제하지 못하는 고집증(perseveration)을 보인다(Mishkin, 1964). 이는 부정적인 피드백을 통해 이전 행동의 가치를 새롭게 업데이트하지 못하기 때문이라고 볼 수 있다. 따라서 OFC의 주요 기능은 경험을 토대로 새로운 자극-강화 연합을 학습하여 행동의 가치를 계산하는데 있다고 볼 수 있다. 실험실에서와는 달리 실제 생활에서는 선택 시 고려하여야 할 사항이 많고 결과가 불확실하거나 위험한 경우가 많으므로 가치에 대한 확실한 표상은 충동행동을 억제하는데 많은 도움을 줄 것으로 생각된다. 그러나 아동이나 청소년의 경우 OFC의 발달이 비교적 나중에 일어나는데다 경험 부족으로 인해 가치에 대한 표상에 제한적일 수밖에 없으므로 중요한 가치를 자주 일러 주거나 가치판단 능력 향상을 위한 교육 과정이나 훈련 프로그램의 개발이 요구된다.

## 2. 목표지향적 행동을 위한 인지적 조절

성취해야 하는 과제를 수행하지 않고 사람들이 유혹에 빠지거나 목표행동을 지연하는 이유는 즉각적인 보상에 대한 사람들의

선호도가 매우 높기 때문이다. 보상에 대한 주관적 가치는 보상이 주어지는 시점에 따라 변하는데, 즉시성(immediacy) 자체가 비교적 중요한 보상의 역할을 한다. 보상이 주어지는 시기와 보상의 크기를 변화시켜 여러 가지 옵션을 제시한 후 한 가지를 선택하게 하면, 작지만 즉각적인 보상과 크지만 한참 뒤에 주어지는 보상 간에 갈등을 경험하게 된다. 한 가지 분명한 점은 보상이 주어지는 시점이 멀어질수록 보상의 상대적 가치는 감소하게 된다. 이를 시간에 따른 효용할인(temporal discounting) 혹은 지연할인(delay discounting)이라 한다. 시간효용할인은 자기통제(self-control; Rachlin, 1995)나 만족의 지연(delay of gratification; Mischel & Gilligan, 1964)과 직접적으로 관련이 깊으며, 본질적으로 유혹에 저항하거나 충동 억제하기와 매우 유사하다. 자기통제와 만족의 지연이란 작지만 즉각적인 보상보다는 비록 지연되기는 하였으나 큰 보상을 수반하는 행동을 선택하는 것을 말한다.

McClure, Laibson, Loewenstein과 Cohen(2004)은 시간에 따른 효용할인과 관련된 뇌 영역을 탐색하기 위해 시간 간격에 따라 달라지는 다양한 금전적 보상 옵션(예, 오늘 \$20 대 2주후 \$25)을 제시하고 이 중에서 하나를 선택할 때의 뇌활성화 패턴을 비교하였다. 그 결과 즉시적 보상을 선택하였을 경우에는 선조체와 내측 안와전두피질(MOFC) 영역이 활성화된 반면, 장기적 보상을 선택하였을 경우에는 전두-두정 피질(fronto-parietal cortex)이 활성화되었다. 이러한 결과는 즉시적 보상을 선택하는 경우에는 보상과 가치평가 체계가 활성화되었지만 즉시적인 만족을 지연하기 위해서는 조절이나 통

제를 담당하는 전전두피질의 관여가 필수적이라는 사실을 시사한다.

사람들로 하여금 유혹에 빠지지 않고 특정 목표를 지속적으로 추구할 수 있도록 동기를 조절하는 힘은 어디서 오는가? 충동을 억제하고 동기를 조절하기 위해서는 미래에 대한 상세한 계획을 세우고 그에 따라 행동하여야 한다. 이 과정에는 목표설정, 목표유지, 성과점검(outcome monitoring), 계획수정, 전략선택 등의 인지적 조절과정이 필수적으로 관여하게 된다. 따라서 충동을 억제하는 기작은 단순히 욕구를 억압하는 것이 아니라 인지적 조절을 통한 목표지향적인 가치 판단으로 보는 것이 타당하다.

실제로 인지적 조절은 부정적 보상에측오류가 발생하거나 부정적 피드백이 제시되었을 때 동기를 조절하는 매우 유용한 대처방식이다. 기대한 보상이 주어지지 않을 경우에는 부정적 보상에측오류가 발생하게 된다. 이때 도파민계의 활성화는 감소되고 목표행동의 발생빈도 역시 줄어들게 됨에 따라 궁극적으로 학습한 행동은 소거된다. 보상이 사라지게 되거나 부정적 피드백이 제시되면 동기는 당연히 감소하게 된다. 그러나 부정적인 피드백이 제공되었을 경우에도 정서적으로 대처하지 않고 인지적 조절을 통해 수행의 문제점을 점검하고 새로운 계획과 전략을 세우는 것은 동기를 조절하는 효과적인 방법이다. 그 결과 기대하지 않은 보상으로 인한 긍정적 보상에측오류가 발생하고 도파민이 다시 분비되어 동기가 유발되고 새로운 학습이 발생할 가능성이 높아진다.

인지적 조절 과정에 관여하는 뇌 영역으로는 전대상피질(ACC), DLPFC, OFC 등이 있

다(Cole & Schneider, 2007). 이 중에서도 집행 기능을 담당하는 전대상피질은 대뇌피질과 피질하 구조의 연결지점으로 인지와 정서의 통합뿐만 아니라 주의조절, 수행점검, 오류 탐지, 반응억제, 고차적 행위의 계획, 전략 변경 등의 다양한 기능을 담당한다. 배측 전대상피질(dACC)은 작업기억을 담당하고 있는 DLPFC와 연결되어 있어 의사결정이나 문제해결을 위한 인지적 조절기능에 주로 관여하는 반면, 복측 전대상피질(vACC)은 정서적 조절기능에 주로 관여한다(Bush, Luu, & Posner, 2000). 따라서 자기통제는 목표지향적인 의사결정을 위해 복측 전전두피질(VMPFC)에서 목표의 가치를 부호화 한 다음 이를 DLPFC에서 조절하는 과정이라 할 수 있다(Hare, Camerer, & Rangel, 2009).

즉각적인 충동을 억제하는 만족의 지연과 자기통제에 관한 사회인지신경과학적 연구에서 자기통제에 성공한 사람과 실패한 사람의 개인적 특성을 비교한 결과, 자기통제 개인차의 주된 원인은 작업기억 능력에서의 차이로 밝혀졌다. Shamosh와 Gray(2008)는 메타분석 결과, 지연할인과 지능간의 부적상관( $r = -.23$ )을 발견하였으며, 다른 연구에서도 DLPFC의 활성화는 작업기억, 집행기능, 지능뿐만 아니라 다양한 만족지연 과제들의 성공률과도 높은 상관을 보이는 것으로 나타났다(Knoch & Fehr, 2007; Shamosh et al., 2008). 지연할인과제는 선택행동의 가치를 계산하면서 인지적, 정서적 조절을 동시에 수행하여야 하는 과제이므로 작업기억을 효율적으로 사용하는 사람에게 유리한 과제이다. 이러한 연구결과는 자기통제나 만족의 지연 등을 포함한 자기조절 능력을 증진시키기 위해서는 의지를 강조하면서 인내심

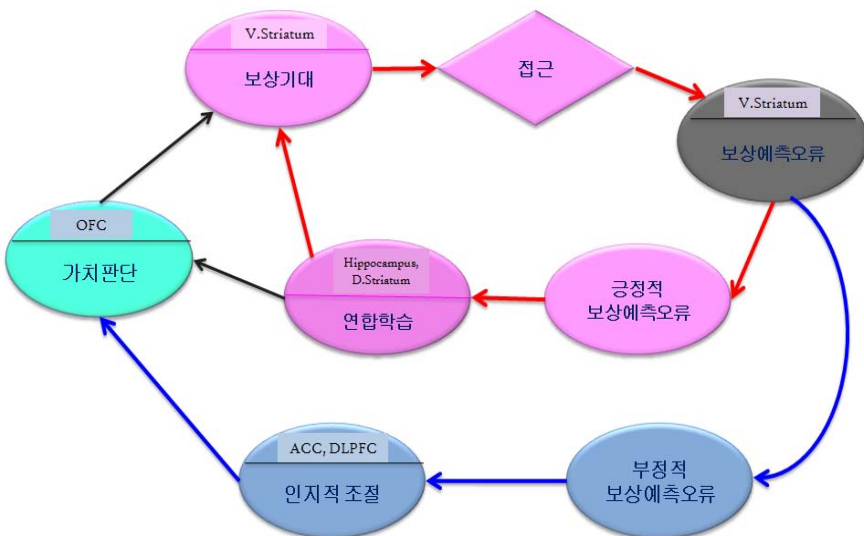
을 기르는 훈련보다는 작업기억의 훈련을 통해 인지적 조절이나 집행기능을 향상시키는 것이 더욱 효과적일 가능성이 높다는 점을 시사한다.

### V. 신경교육학적 동기과정 모형

앞서 살펴본 동기에 관한 신경과학적 연구결과를 종합하면, 동기란 보상에 대한 선택적 접근과정이며, 현재의 가치인 보상 획득을 유지하기 위한 학습과정임과 동시에 미래의 가치에 해당하는 목표를 달성하기 위한 인지적 조절과정이라 할 수 있다. 이러한 결과를 토대로 이 논문에서는 보상, 학습, 가치판단, 의사결정, 인지적 조절 등의 개념에 관한 신경교육학적 접근을 통해 동기과정에 대한 잠정적 모형을 제안하고자 한다. 동기과정 모형에서는 동기가 유발되고, 유지되고, 조절되는 과정을 각각 접근과

정, 학습과정 및 조절과정으로 설명한다(그림 5 참조).

동기과정에는 보상기반 습관체계(reward-based habit system)와 가치기반 의사결정체계(value-based decision making system)의 두 가지 상이한 가치체계가 관여한다(Rangel, Camerer, & Montague, 2008). 보상기반 습관체계는 동기가 유발되는 과정으로 습관적 접근행동을 다루며, 도파민을 매개로 하여 반복적인 연합을 통해 자동적인 반응체계를 형성한다. 이 체계는 기본적인 자극-행동-보상의 연합을 학습하는 선조체에서 주로 담당하며, 비교적 주의가 적게 할당되는 무의식적이고 자동적인 동기(automatic motivation)에 해당한다. 반면, 가치기반 의사결정체계에서는 목표지향적인 행동을 다루며, 행위의 다양한 결과를 평가하고 가치를 계산하여 강화유관을 새롭게 변화시키는 등의 의사결정을 담당한다. 동기를 유지하거나 변화시키는 과정에서는 목표를 작업기억에 담아두고 수행



(그림 5) 신경교육학적 동기과정 모형

을 모니터하여 가치체계를 업데이트 하는 등의 고차적 인지기능을 담당하는 전대상피질과 전전두피질(OFC, DLPFC, MPFC)이 중요한 역할을 한다. 이 체계는 인지적 조절 과정과 의사결정과정에 관여하므로 의식적으로 조절된 동기(controlled motivation)에 해당한다. 보상기반 습관체계와 가치기반 의사결정체계는 도파민계 신경세포가 예측오류신호를 선조체와 전전두엽에 보냄으로써 상호작용한다.

[그림 5]에서 나타난 바와 같이 보상에 대한 접근은 동기유발에 해당하는 과정으로 생득적 가치나 과거경험으로부터 계산된 가치를 토대로 접근행동과 회피행동을 결정하거나 여러 행동 대안 중 하나를 선택하는 과정이다. 이전에는 동기가 없었던 특정 행동에 대한 동기가 유발되는 이유는 행동의 결과로 보상을 획득하였으므로 보상에 대한 기대가 높아져 지속적으로 접근행동을 선택하기 때문이다. 동기가 유발되었는지는 선택여부와 접근행동의 빈도로 판단되며, 이와 관련된 주요 뇌영역은 복측 선조체이다. 이 과정에서 동기유발의 핵심 결정요인은 과거의 경험에 의거한 가치의 정도이며, 동기유발의 적들은 과거 실패경험, 적은 보상 및 높은 과제난이도 등이다.

다음으로 긍정적 보상예측오류에 의한 학습은 유발된 동기를 지속적으로 유지하기 위한 과정으로 보상획득 가능성을 높이기 위해 자극-행동-보상의 연합을 학습하는 과정이다. 기대하지 않은 보상이 주어지면 긍정적 보상예측오류가 발생하는데 긍정적 보상예측오류가 클수록 학습자의 심리적 놀람 정도 역시 증가하므로 이때 학습이 강하게 발생하게 된다. 강력하게 학습된 행동-보상

연합은 향후 보상에 대한 기대를 높이므로 지속적인 접근행동을 유지하도록 한다. 그러나 반복된 보상으로 인해 긍정적 보상예측오류가 점차 줄어들면 학습의 효과도 줄어들게 되어 보상획득을 유지하기 위한 최소한의 습관적인 접근행동이 나타나게 된다. 동기유지 과정에서는 긍정적 보상예측오류와 보상 만족도에 따른 원함(유인 현출성)이 동기유지의 핵심 결정요인이며, 무보상이나 동일한 보상의 반복이 동기유지의 적이다. 동기유지는 행동의 빈도 및 지속성 그리고 행동에 투자한 노력 등으로 측정될 수 있으며, 동기유지의 주요 뇌영역은 해마와 배측 선조체이다.

마지막으로 부정적 보상예측오류에 따른 인지적 조절은 보상을 획득하지 못하는 실패상황에서 자기통제를 통해 목표지향적 행동을 유지하고 계획과 전략을 수정하여 새로운 보상을 탐색하는 자기조절 과정이다. 보상을 기대하고 행동했으나 보상이 주어지지 않는 경우, 행동에 대한 가치는 감소하게 되고 좌절은 커지게 되므로 접근행동이 줄어들고 다른 매력적인 대안행동의 유혹에 빠지기 쉽다. 이때 장기적인 목표를 떠올리고 현재상태의 수행을 점검한 후 새로운 계획을 수립하고 가치를 갱신하는 등의 인지적 조절이 성공적으로 이루어지면 유혹에 저항할 수 있게 된다. 또한 행동에 수반되는 보상이 지속적으로 제공되어 긍정적 보상예측오류가 발생하지 않는 경우에도 흥미를 잃게 되어 동기가 저하될 수 있다. 이때에도 마찬가지로 인지적 조절과정을 통해 새로운 목표, 계획, 전략을 설정함으로써 동기를 증진시킬 수 있다. 동기조절 과정에서는 계획의 설정, 수행의 점검, 새로운 전략

의 선택, 가치의 지속적인 업데이트 등의 인지적 조절과정의 관여가 결정적인 역할을 한다. 동기조절의 적들은 즉각적 충동이나 유혹 그리고 중앙집행처리 능력의 부족이다. 행동지연이나 만족의 지연, 목표성취 정도 등을 통해 동기조절 여부를 파악할 수 있으며, 동기조절과 관련된 주요 신경회로는 ACC와 DLPFC이다.

이러한 동기과정 모형에 따른 한 학생의 학습동기 유발과 유지 및 조절과정의 전형적인 예를 들어보면 다음과 같다. 특정 교과 학습에 동기가 전혀 없었던 한 학생이 담당 교사의 칭찬이나 인정을 받은 다음에 그 교과 공부를 열심히 하고 싶은 학습동기가 난생 처음으로 유발된다(보상에 대한 접근). 교사의 인정을 받기 위해서 열심히 공부를 하다 보니 뜻밖에도 성적이 약간 올라가게 되고(긍정적 보상예측오류), 좋은 성적을 유지하기 위해서는 어떠한 행동을 하여야 하는지를 연합을 통해 학습하였으므로 지속적으로 노력하여 학습동기를 일정수준 유지한다. 그러나 성적이 오르지 않거나 교과 담당 교사가 바뀌어서 동일한 행동에 더 이상 칭찬을 받지 못하거나(부정적 보상예측오류) 혹은 선생님의 칭찬에 너무 익숙해져서 보상의 가치가 떨어지기 시작하면(긍정적 보상예측오류가 감소함) 학업이외의 다른 자극의 유혹에 빠질 위험에 놓이게 된다. 이때 자신의 장기적 목표를 떠올려 현재의 수행상태를 점검하고 계획을 수정하여 새로운 전략을 사용함으로써(인지적 조절) 즉각적인 만족을 지연시키고 동기조절에 성공하게 된다.

신경교육학적 동기과정모형에서는 동기가 발생하여 유지되고 조절되는 역동적인 과정

에 초점을 맞추어 각 과정에서의 신경계 활동을 근거로 주요 작동기제를 파악하고자 하였다. 동기과정 모형은 실제 학습상황에서의 동기유발이나 동기증진과 관련된 교육적 함의를 내포하고 있다. 예를 들어, 보상이 없으면 보상에 대한 기대도 없고 접근행동이 발생하지 않으므로 학습상황에서 보상은 동기유발에 필수적인 요소이다. 보상이 반드시 외부에서 주어지는 물질적인 강화물일 필요는 없으므로 보상중추를 활성화시키는 다양한 자극이나 만족스러운 상황을 파악하여 보상으로 사용하는 것이 중요하다. 한편 학습상황에서 동일한 칭찬을 반복하면 긍정적 보상예측오류가 줄어들게 되므로, 유발된 동기를 유지하기 위해서는 새로운 유형의 칭찬을 사용하거나 보상체계를 도입하여 긍정적 보상예측오류를 증가시키고 학습의 효과를 높이는 것이 바람직하다. 또한 동기가 저하될 때의 인지적 조절과정에서는 주의와 작업기억의 역할이 중요하므로 이러한 기능의 훈련 프로그램을 개발하고 그 효과성을 검증하는 연구도 필요할 것이다.

이 논문에서 제시된 동기과정 모형은 신경과학적 연구결과를 토대로 제안되었으나 잠정적인 모형에 불과하므로 추후 세밀한 검증이 요구된다. 신경교육학은 신생 학문 분야이므로 향후 체계적인 연구방법론의 틀이 자리를 잡고 집중적인 연구가 이루어진다면 실제 교육 장면에 크게 공헌을 할 것으로 기대된다(김성일, 2006). 인지적, 정서적, 사회적 기술의 발달과 학습과정 및 그 효과에 대해서는 이미 신경교육학적 연구결과가 누적되어 많은 진전이 이루어지고 있지만, 유독 동기 분야에서의 연구는 매우 부진한 실정이다. 학습동기와 관련하여 교

육장면에서의 함의점이 높은 신경교육학 연구를 수행하기 위해서는 실제 행동이나 자기보고 방식으로는 파악하기 어려운 암묵적이고 역동적인 과정에 초점을 맞추고 생태학적 타당성이 높은 연구주제를 선정하는 것이 중요하다. 특히 청소년의 뇌 발달 특성을 고려하여 이들의 동기관련 뇌기능을 최적화하는 학습환경을 제공하기 위한 실용적 연구에도 관심을 가져야 한다. 또한 기존 동기이론에서 논란이 되고 있는 여러 가지 쟁점들을 신경교육학적 접근을 통해 해결하거나, 통념을 깨는 새로운 연구결과를 토대로 창의적인 동기이론을 제안할 수도 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- 김성일 (2006). 뇌기반 학습과학: 뇌과학이 교육에 대해 말해 주는 것은 무엇인가? *인지과학*, 17(4), 375-398.
- 도경수, 박창호, 김성일 (2002). 인지에 관한 뇌 연구의 개괄적 고찰, 평가, 및 전망. *한국심리학회지: 실험 및 인지*, 14(4), 321-343.
- Aharon, I., Etcoff, N., Ariely, D., Chabris, C. F., O'Connor, E., & Breiter, H. C. (2001). Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence. *Neuron*, 32, 537-551.
- Anderson, A. K., Christoff, K., Stappen, I., Panitz, D., Ghahremani, D. G., Glover, G., Gabrieli, J. D. E. & Sobel, N. (2003). Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nature Neuroscience*, 6, 196 - 202
- Arnow, B. A., Desmond, J. E., Banner, L. L., Glover, G. H., Solomon, A., Polan, M. L., Lue, T. F., & Atlas, S. W. (2002). Brain activation and sexual arousal in healthy, heterosexual males. *Brain*, 125, 1014-1023.
- Aron, A., Fisher, H. E., Mashek, D. J., Strong, G., Li, H. F., & Brown, L. L. (2005). Reward, motivation, and emotion systems associated with early-stage intense romantic love: an fMRI study. *Journal of Neurophysiology*, 94, 327 - 337.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-15.
- Berridge, K. C. (2000). Measuring hedonic impact in animals and infants: microstructure of affective taste reactivity patterns. *Neuroscience and Biobehavioural Reviews*, 24, 173-198.
- Berridge, K. C. (2003). Pleasures of the brain. *Brain and Cognition*, 52, 106-128.
- Berridge, K. C. (2007). The debate over dopamine's role in reward: the case for incentive salience. *Psychopharmacology*, 191, 391-431.
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (2003). Parsing reward. *Trends in Neurosciences*, 26, 507-513.
- Berridge, K. C., & Valenstein, E. S. (1991). What psychological process mediates feeding evoked by electrical stimulation of the lateral hypothalamus? *Behavioral Neuroscience*,

- 105, 3-14.
- Bjork, J. M., Knutson, B., Fong, G. W., Caggiano, D. M., Bennett, S. M., & Hommer, D. W. (2004). Incentive-elicited brain activation in adolescents: similarities and differences from young adults. *Journal of Neuroscience*, 24, 1793-1802.
- Bush, G., Luu, P. & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science*, 4, 215 - 222.
- Camille, N., Coricelli, G., Sallet, J., Pradat-Diehl, P., Duhamel, J. R., & Sirigu, A. (2004). The involvement of the orbitofrontal cortex in the experience of regret. *Science*, 304, 1167-1170.
- Casey, B. J., Getz, S., & Galvan, A. (2008). The adolescent brain. *Developmental Review*, 28, 62-77.
- Cole, M., & Schneider, W. (2007). The cognitive control network: Integrated cortical regions with dissociable functions. *Neuroimage*, 37, 343-360.
- Crone, E. A., Zanolie, K., Van Leijenhorst, L., Westenberg, P. M., & Rombouts, S. A. R. B. (2008). Neural mechanisms supporting flexible performance adjustment during development. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 8, 165-177.
- Dagher, A., & Robbins, T. A. (2009). Personality, addiction, dopamine: Insights from Parkinson's disease. *Neuron*, 61, 502-510.
- Damasio A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 351, 1413-1420.
- Daw, N. D., O'Doherty, J. P., Dayan, P., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Cortical substrates for exploratory decisions in humans. *Nature*, 441, 876-879.
- Duijvenvoorde, A. C. K., Zanolie, K., Rombouts, S. A. R. B., Raijmakers, M. E. J., & Crone, E. A. (2008). Evaluating the negative or valuing the positive? Neural mechanisms supporting feedback-based learning across development. *Journal of Neuroscience*, 28, 9495-9503.
- Ernst, M., & Frudge, J. L. (2009). A developmental neurobiological model of motivated behavior: anatomy, connectivity and ontogeny of the triadic nodes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33, 367-382.
- Ernst, M., Pine, D. S., & Hardin, M. (2005). Triadic model of the neurobiology of motivated behavior in adolescence. *Psychological Medicine*, 36, 299-312.
- Galvan, A., Hare, T. A., Parra, C. E., Penn, J., Voss, H., Glover, G., & Casey, B. J. (2006). Earlier development of the accumbens relative to orbitofrontal cortex might underlie risk-taking behavior in adolescents. *Journal of Neuroscience*, 26, 6885-6892.
- Hare, T. A., Camerer, C. F., & Rangel, A. (2009). Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system. *Science*, 324, 646-648.

- Hyman, S. E. , Malenka, R. C. & Nestler, E. J. (2006). Neural mechanisms of addiction: The role of reward-related learning and memory. *Annual Review of Neuroscience*, 29, 565 - 598.
- Izquierdo, A., Suda, R. K., & Murray, E. A. (2004). Bilateral orbital prefrontal cortex lesions in rhesus monkeys disrupt choices guided by both reward value and reward contingency. *Journal of Neuroscience*, 24, 7540-7548.
- Kim, S. (in press). Neuroeducational approaches on learning. In N.M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the sciences of learning*. New York: Springer.
- Kim, S., Lee, M. J., Chung, Y., & Bong, M. (2010). Comparison of brain activation during norm-referenced versus criterion-referenced feedback: The role of perceived competence and performance- approach goals. *Contemporary Educational Psychology*, 35, 141-152.
- Knoch, D., & Fehr, E. (2007). Resisting the power of temptations: The right prefrontal cortex and self-control. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1104, 123-134.
- Knutson, B., Taylor, J., Kaufman, M., Peterson, R., & Glover, G. (2005). Distributed neural representation of expected value. *Journal of Neuroscience*, 25, 4806-4812.
- Kringelbach, M. L., O'Doherty, J., Rolls, E. T., & Andrews, C. (2003). Activation of the human orbitofrontal cortex to a liquid food stimulus is correlated with its subjective pleasantness. *Cerebral Cortex*. 13, 1064 - 1071.
- Lieberman, M. D., & Eisenberger, N. I. (2009). Neuroscience: Pains and pleasures of social life. *Science*, 323, 890-891.
- McClure, S. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2004) Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science*, 306, 503-507.
- Mischel, W., & Gilligan, C. (1964). Delay of gratification, motivation for the prohibited gratification, and responses to temptation. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 69, 411-417.
- Mishkin, M. (1964). Perseveration of central sets after frontal lesions in monkeys. In J. M. Warren, & K. Akert (Eds.), *The Frontal Granular Cortex and Behavior*(pp. 219-241). New York: McGraw-Hill.
- Mobbs, D., Greicius, M. D., Abdel-Azim, E., Menon, V., & Reiss, A. L. (2003). Humor modulates the mesolimbic reward centers. *Neuron*, 40, 1041-1048.
- Montague, P. R., & Berns, G. S. (2002). Neural economics and the biological substrates of valuation. *Neuron*, 36, 265-284.
- O'Doherty, J. P., Dayan, P., Friston, K., Critchley, H., & Dolan, R. J. (2003). Temporal difference models and reward-related learning in the human brain. *Neuron*, 38, 329-337.
- Olds, J., & Milner, P. (1954). Positive reinforcement produced by electrical stimulation of the septal area and other regions of rat brain. *Journal of Comparative*

- and *Physiological Psychology*, 47, 419 - 427.
- Rachlin, H. (1995). Self-control: Beyond commitment. *Behavioral and Brain Science*, 18, 109-159.
- Rangel, A., Camerer, C., & Montague, P. R. (2008). A framework for studying the neurobiology of value-based decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 545-556.
- Rilling, J. K., Gutman, D. A., Zeh, T. R., Pagnoni, G., Berns, G. S., & Kilts, C. D. (2002). A neural basis for social cooperation. *Neuron*, 35, 395-405.
- Rudebeck, P. H., Walton, M. E., Smyth, A. N., Bannerman, D. M., & Rushworth, M. F. S. (2006). Separate neural pathways process different decision costs. *Nature Neuroscience*, 9, 1161 - 1168.
- Salamone, J. D., Correa, M., Farrar, A., & Mingote, S. M. (2007). Effort-related functions of nucleus accumbens dopamine and associated forebrain circuits. *Psychopharmacology*, 191, 461-482.
- Salamone, J. D., Correa, M., Mingote, S. M., & Weber, S. M. (2005). Beyond the reward hypothesis: Alternative functions of nucleus accumbens dopamine. *Current Opinion in Pharmacology*, 5, 34-41.
- Schultz, W. (2000). Multiple reward signals in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 1, 199-207.
- Schultz, W. (2004). Neural coding of basic reward terms of animal learning theory, game theory, microeconomics and behavioural ecology. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 139-147.
- Schultz, W. (2006). Behavioral theories and the neurophysiology of reward. *Annual Reviews of Psychology*, 57, 87-115.
- Schultz, W., Dayan, P., & Montague, R. R. (1997). A neural substrate of predict and reward. *Science*, 275, 1593-1599.
- Self, D. (2003). Dopamine as chicken and egg. *Nature*, 422, 573-574.
- Shamosh, N. A., & Gray, J. R. (2008). Delay discounting and intelligence: A meta-analysis. *Intelligence*, 36, 289-305.
- Shamosh, N. A., DeYoung, C. G., Green, A. E., Reis, D. L., Johnson, M. R., Conway, A. R. A., Engle, R. W., Braver, T. S., & Gray, J. R. (2008). Individual differences in delay discounting: Relation to intelligence, working memory, and anterior prefrontal cortex. *Psychological Science*, 19, 904-911.
- Small, D. M., Gregory, M. D., Mak, Y. E., Gitelman, D., Mesulam, M. M., & Parrish, T. (2003). Dissociation of neural representation of intensity and affective valuation in human gustation. *Neuron*, 39, 701 - 711.
- Tremblay, L., & Schultz, W. (1999). Relative reward preference in primate orbitofrontal cortex. *Nature*, 398, 704-708.
- Van Leijenhorst, L., Zanolie, K., Van Meel, C. S., Westenberg, P. M., Rombouts, S. A. R. B., & Crone, E. A. (2010). What motivates the adolescent? Brain regions mediating reward sensitivity across adolescence. *Cerebral Cortex*, 20, 61-69.
- Wallis, J. D. (2007). Orbitofrontal cortex and

its contribution to decision-making. *Annual Reviews of Neuroscience*, 30, 31-56.

Walter, H., Abler, B., Ciaramidaro, A., & Erk, S. (2005). Motivating forces of human actions: Neuroimaging reward and social interaction. *Brain Research Bulletin*, 67, 368-381.

Wise, R. A. (2004). Dopamine, learning and motivation. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 483-494.

Abstract

Neuroeducational Approaches on Motivation:  
Reconceptualization of Motivational Process

Sung-il Kim

The advances in neuroscience result in the fundamental shift in the unit of analysis toward an understanding of human psychology. Converging evidence from cognitive, affective, social, and developmental neuroscience, and neuroeconomics enables the reconceptualization of human motivation. This review proposes a tentative model of motivation to provide neuroeducational account of motivational process that is ecologically valid and educationally relevant. The motivational process model assumes motivation as a series of dynamic processes and focuses on how motivation is generated, maintained, and regulated. In this model, the generation of motivation is regarded as a process of approaching toward a reward and the maintenance of motivation is regarded as a learning process by positive reward prediction errors, whereas the regulation of motivation is a cognitive control process as a result of negative reward prediction errors.

*Key words* : motivation, neuroeducation, motivational process, motivation generation, motivation maintenance, motivation regulation, reward, learning, reward prediction error

투고일자: 2011. 02. 01.

심사일자: 2011. 02. 05.

게재확정일자: 2011. 03. 15.