

신경효율성의 개인차에 관한 고찰: 인지양식과 과제 특성을 중심으로*

허 민 영

김 초 복†

경북대학교 심리학과

신경효율성은 최소한의 신경 자원을 활용하여 주어진 정보를 처리하고자 하는 뇌의 특성으로, 많은 연구들에서 서로 다른 형태의 신경효율성을 보고하고 있다. 이러한 신경효율성 발생 패턴에서의 개인차를 지능, 성별, 연령, 인지양식 등의 참가자 변인으로 설명하고자 한 연구들이 수행되었으나, 혼재된 연구 결과들로 인하여 통합이 어려운 상황이다. 본 논문에서는 인지양식이라는 참가자 변인과 연구마다 제시한 과제의 특성 차이를 중심으로 하여 관련 연구들을 검토하였다. 많은 연구들은 과제에서 주어진 자극 양상에 따라 신경효율성이 발생하는 뇌 영역이 달라지는 것을 보고하였다. 또한 과제 난이도에 따라 참가자들이 자극 처리에 직접적으로 관여하는 영역과 그렇지 않은 영역에서의 신경 자원을 활용하는 패턴이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 본 연구에서는 지능, 성별, 연령 등의 변인으로 설명하였던 신경효율성 발생 패턴에서의 개인차를 선호인지양식으로도 설명할 수 있는 가능성을 제시하였다. 결론적으로, 본 논문은 신경효율성의 발생 패턴을 살펴보고자 하는 연구들이 일관된 결과를 도출하기 위해 과제의 자극 양상과 난이도를 고려하는 것의 중요함을 제시하고, 지능, 성별, 연령 등의 다른 참가자 변인들로 설명하였던 신경효율성 발생 패턴의 개인차를 선호인지양식의 관점으로 재해석 할 수 있음을 시사한다.

주제어 : 신경효율성, 인지양식, 과제 자극 양상, 과제 난이도

* 이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비와 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2012R1A1A1039369).

† 교신저자 : 김초복, 경북대학교 심리학과, (702-701) 대구광역시 북구 대학로 80

E-mail : ckim@knu.ac.kr

낮선 곳에서 원하는 장소로 가고자 할 때, 우리는 지도에서 주어진 공간 정보를 이용하여 어느 길로 가는 것이 가장 빠른 길인지를 결정해야 할 때가 있다. 멀리서 걸어오는 사람이 내가 서있는 곳을 향해 인사를 할 때, 우리는 내가 그 사람을 알고 있는지 혹은 아닌지를 확인하여 인사를 할지의 여부를 결정해야 한다. 숙제를 위해 인터넷을 통해 문서 자료를 검색할 때, 우리는 검색한 자료가 필요한지, 그렇지 않은지 구분하여 자료를 활용할지 결정해야 한다. 이와 같이 우리는 일상 생활에서 다양한 유형의 인지 과제를 수행해야 하는데, 이 때 우리의 뇌는 주어진 정보들을 최소한의 신경 자원을 활용하여 처리하고자 하는 경향이 있다. 이처럼 적은 신경 자원을 활용하여 과제를 수행하려고 하는 뇌의 정보처리 특성을 신경효율성이라고 한다(Haier et al., 1988). 예를 들면, 동일한 과제를 수행하는데 다른 사람들보다 더 적은 신경자원을 사용하는 사람은 신경효율성이 높은 개인이라고 할 수 있다. 더 나아가 일부 연구자들은 신경효율성을 과제 정보 처리에 사용된 신경 자원 대비 과제 수행 정도, 즉 신경효율성 = (과제 수행력)/(활용된 신경자원)으로 정량화하여 정의하려는 시도를 하기도 한다(Basten, Stelzel, & Fiebach, 2011, 2012).

Haier와 동료들(1988)은 신경효율성의 특성을 밝히고자 하였는데, 그들은 지능이 높은 참가자들이 지능이 낮은 참가자들보다 더 적은 신경 자원을 활용하여 동일한 인지 과제를 잘 처리함을 발견하였다. 연구자들은 이러한 결과가 지능이 높은 사람이 신경을 더 효율적으로 활용할 수 있기 때문이라고 주장하였고,

이 결과를 바탕으로 이후 지능의 개인차와 신경효율성에 관한 많은 연구들이 이루어졌다(예, Doppelmayr, Klimesch, Stadler, Pollhuber, & Heine, 2002; Gerlic & Jausovec, 1999; Haier et al., 1992; Jausovec, 1998; Neubauer, Fink, & Schrausser, 2002; Neubauer, Freudenthaler, & Pfurtscheller, 1995). 그런데 최근, 이러한 신경효율성의 경향이 지능이라고 하는 인지적 능력과 관련이 있을 뿐만 아니라 개인이 선호하는 인지양식에 따라서도 다르게 나타난다는 연구 결과들이 등장하고 있다(예, Kraemer, Rosenberg, & Thompson-Schill, 2009; Motes, Malach, & Kozhevnikov, 2008).

인지양식이란 개인의 지각, 기억, 생각, 문제 해결 방식을 결정하는 안정된 태도, 선호, 또는 습관적 전략으로 정의된다(Messick, 1976). 인지양식은 처리하는 정보의 종류와 처리 단계 등의 여러 기준에 따라 다양한 분류가 가능한데, 가장 널리 알려진 인지양식들 중의 하나는 Pavio(1971)가 제시한 시각-언어 차원의 인지양식으로 이는 정보처리에 대한 선호에 있어 시각적 자극이나 언어적 자극을 얼마나 더 선호하는지에 관한 것이다. 이후 많은 연구자들이 행동 연구뿐만 아니라 인지신경과학적 연구들을 통하여 이 시각-언어 양식을 지지하는 결과를 보고하였다(Hsu, Kraemer, Oliver, Schlichting, & Thompson-Schill, 2011; Kraemer, Rosenberg, & Thompson-Schill, 2009; Richardson, 1977). 그러나 시각 정보 처리 과정에 두 가지 경로의 신경학적 기저가 있다는 연구 결과가 제시되면서(Courtney, Ungerleider, Keil, & Haxby, 1996), 인지양식을 시각-언어 차원으로 구분하는 것에서 더 나아가 대상-공간-

언어 차원으로 세분화해야 한다는 주장이 제기되었고(Kozhevnikov, Hegarty, & Mayer, 2002), 이는 이후 행동적, 신경적 증거들에 의해서도 많은 지지를 얻고 있다(Kozhevnikov, 2007; Kozhevnikov, Kosslyn, & Shephard, 2005).

정보처리 양식에 기반을 둔 이 인지양식 차원에 있어서 개인의 특정 인지양식에 대한 선호와 신경효율성의 발생 패턴을 관찰한 몇몇 연구들이 존재하지만, 아직 그 연구의 수가 부족할 뿐만 아니라, 상반되는 결과들이 혼재되어 나타나고 있다. 예컨대, Motes와 동료들(2008)은 대상 정보를 선호하는 사람들이 공간 정보를 선호하는 사람들보다 대상 자극이 주어지는 과제 수행 시 더 낮은 신경 활성화를 보임을 발견하였으나, Neubauer와 동료들(1999)은 선호인지양식과 뇌의 활성화가 유의미한 상관관을 보이지 않음을 보고하였다.

대상과 같은 시각 자극에 대한 처리는 복측에서, 공간 정보에 대한 처리는 배측에서 이루어지는 것과 마찬가지로 뇌에서 높은 신경 활성화를 보이는 영역과 낮은 활성화를 보이는 영역은 과제에서 제시되는 자극의 양상에 따라 구분된다(Basten, Stelzel, & Fiebach, 2013). 그런데, 신경효율성이 과제 수행과는 관련 없는 영역들의 낮은 활성화와 과제와 관련된 특정 영역들의 높은 활성화에 의해 만들어지는 신경 활동이라는 점을 고려한다면(Jausovec & Jausovec, 2001, 2004; Neubauer et al., 1995), 과제 수행 시 나타나는 신경효율성의 발생 패턴은 개인의 특정 인지양식에 대한 선호뿐만 아니라, 연구에서 사용된 자극의 양상에 의해 달라질 수 있음을 예상해볼 수 있으며, 이는 신경효율성 관련 연구들을 과제에 포함된 자극

의 양상에 따라 분류하여 살펴볼 필요성이 있음을 시사한다.

따라서 본 연구에서는 이전 연구들에서 나타난 혼재된 결과들의 원인을 개인의 선호인지양식과 연구에서 사용된 과제에서 제시된 자극 양상을 중심으로 살펴보고자 한다. 또한, 과제 난이도에 따라서 과제 수행과 관련 있는 영역과 관련 없는 영역에서의 신경효율성 발생 여부가 달라진다는 연구 결과들을 고려한다면(Basten et al., 2013; Neubauer & Fink, 2009), 관련 연구들을 연구에서 제시된 과제의 난이도에 따라서도 분류하여 살펴볼 필요가 있다.

뿐만 아니라, 신경효율성의 개인차를 지능이나, 성별(Jausovec, 2012; Neubauer et al., 2002; Neubauer, Grabner, Fink, & Neuper, 2005), 연령(Rypma, Berger, Genova, Rebbeci, & D'Esposito, 2005; Verhaeghen, Cerella, & Basak, 2006) 등의 차이로 설명하는 연구들도 수행되었다. 그런데 일부 연구자들은 지능이나 성별에 따라 선호인지양식이 다름을 (Blajenkova, Kozhevnikov, & Motes, 2006; Neubauer et al., 2002), 또 다른 연구자들은 노년집단의 신경 활동 감퇴 속도가 과제의 자극 양상에 따라 다름을 보고하였는데(Jenkins, Myerson, Joerdig, & Hale, 2000; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2001), 이는 기존에 성별, 혹은 연령이라는 단일 변인으로 설명하던 신경효율성 발생 패턴에서의 개인차를 선호하는 인지양식에서의 차이로도 설명할 수 있는 가능성이 있음을 시사한다.

따라서 본 연구에서는 다음의 두 가지 목적으로 지금까지 수행된 인지양식에 따른 신경

효율성에 관한 연구들을 개관하고자 한다. 첫째, 서로 상충되는 연구 결과들이 나타나는 주요 원인으로 인지양식에서의 개인차뿐만 아니라, 연구에 따라 제시되는 과제의 차이가 있을 것으로 가정하고, 이전 연구들에서 사용된 과제의 자극 양상과 과제 난이도의 차이에 따른 신경효율성 발생 패턴의 차이를 살펴보고자 한다. 둘째, 인지능력에서의 개인차, 혹은 성별, 연령 등의 생물학적 개인차에 따른 신경효율성 발생 패턴의 차이를 선호인지양식의 관점에서 재해석해보고자 한다.

과제의 자극 양상에 따른 신경효율성

1970년대, Pavio(1971)와 Richardson(1977)이 인간의 정보 처리 과정에서 시각 자료의 정보 처리를 선호하는가, 언어 자료의 정보 처리를 선호하는가에 따라 개인의 선호인지양식을 구분할 수 있음을 제안하면서 시각주의자 대 언어주의자 차원의 새로운 인지양식 개념이 등장하였고 이를 바탕으로 한 행동적, 신경학적 연구들이 이루어지기 시작했다.

Kraemer와 동료들(2009)은 언어-시각 인지양식 질문지(verbalizer-visualizer questionnaire: VVQ, Richardson, 1977)를 통해 참가자들을 시각주의자와 언어주의자로 구분한 다음 fMRI 촬영을 통해 동일한 과제를 수행하는 동안의 참가자들의 신경 활성화를 관찰하였다. 그 결과, 참가자가 선호하는 인지양식과 관련된 자극을 처리하는 경우, 해당 자극 양상을 선호하지 않는 참가자보다 자극 처리와 직접적인 관련이 없는 뇌 영역에서 더 적은 활성화를 보이는, 즉 효율적인 신경 활동이 나타났다. 예컨

대, 주어진 비교 자극들이 둘 다 그림인 조건에서 언어주의자의 경우 음운론적 처리를 담당하는 좌측 연상회(supramarginal gyrus)의 활성화 정도가 언어 인지양식에 대한 선호점수와 정적 상관($r=.63$)을 보인 반면, 시각주의자들은 이러한 관계가 나타나지 않았다. 뿐만 아니라, 주어진 비교 자극들이 둘 다 단어인 조건에서는 시각주의자의 경우 그림자극 처리에 관여하는 우측 방추상회(fusiform gyrus)의 활성화와 시각 인지양식에 대한 선호점수 간에 정적 상관($r=.63$)이 나타났으나, 언어주의자는 이러한 상관이 유의미하게 나타나지 않았다.

Hsu와 연구자들(2011) 또한 언어-시각 차원의 인지양식 선호 점수와 신경 활성화간의 흥미로운 상관을 발견하였다. VVQ를 통해 시각-언어 차원으로 참가자들의 선호인지양식을 구분한 다음 fMRI를 통해 그들이 색상 정보의 지각 및 회상을 요구하는 과제를 수행할 때의 신경 활성화를 관찰한 결과, 시각주의자는 언어주의자보다 심상의 부호화와 단어정보처리에 관여하는 좌측 설회 영역(lingual gyrus)에서 더 높은 신경 활성화를, 과제 처리와 직접적인 관련이 없는 뇌 영역에서는 더 낮은 활성화를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로, 이 연구자들은 과제에서 제시된 특정 자극 양상의 정보 처리를 선호하는 참가자들의 경우 그렇지 않은 참가자들 보다 과제 수행 시 뇌의 신경 자원을 과제 처리에 직접적으로 관여하는 영역에 더 집중적으로 활용함으로써 뇌 전반적으로 신경 자원을 효율적으로 처리한다고 주장하였다.

위 연구들은 기존에 사용되던 VVQ를 이용하여 개인의 시각-언어 차원에서의 선호인지

양식과 과제관련 뇌 영역들의 활성화의 관련성을 살펴보았다. 그러나 이후 Kozhevnikov와 동료들(2002; 2005)은 인지양식을 시각-언어의 단일 차원으로 구분하는 것에서 나아가 대상-공간-언어의 세 차원을 가진 인지양식의 타당성을 확인하였고, 이와 관련된 신경 활동을 살펴보려고 하는 후속 연구들이 이루어졌다. 구체적으로, Motes와 동료들(2008)은 대상-공간 인지양식 질문지(Object-Spatial Imagery Questionnaire: OSIQ, Blajenkova et al., 2006)를 통해 참가자들의 선호인지양식을 대상-공간 차원으로 구분하고 그들이 대상 자극의 부호화와 재인이 필요한 대상 과제를 수행할 때의 신경 활성화를 fMRI 촬영을 통해 관찰하였다. 그 결과, 연구자들은 대상 과제를 수행하는 동안 대상주의자가 공간주의자보다 측면후두 복합체(lateral occipital complex, LOC)와 배외측 전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC), 복외측 전전두피질(ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC)에서 더 낮은 활성화를 보이면서 신경 자원을 더 효율적으로 사용한다는 것을 발견하였다. 이 연구자들은 공간주의자의 더 높은 DLPFC 활성화는 부족한 대상정보처리 용량을 보상하는 신경 활동이며, 많은 주의의 할당을 받은 결과로 LOC에서 높은 활성화가 나타난다고 보았다. 또한, 우측 VLPFC의 더 높은 활성화는 그들이 선호하지 않는 대상 정보를 좀 더 효과적으로 처리하기 위해 대상 자극의 속성을 언어적 형태로 부호화 하는 전략의 사용을 반영한다고 주장하였다.

Li와 동료들(2011)도 개인의 대상-공간 선호 인지양식에 따른 신경 활성화의 차이를 뇌전도(electroencephalogram, EEG) 측정을 통해 살펴

보았다. 그들은 대상 양식을 선호하는 참가자들이 대상 정보의 유지와 재인이 필요한 ‘지연된 짝 맞추기 과제(delayed-matching task)’를 수행할 때 공간주의자들보다 대상 정보 처리와 관련된 영역인 좌측 두정후두 영역(parieto-occipital region)과 주의 유지에 중요한 역할을 하는 좌측 전전두 영역(prefrontal region)에서 낮은 신경 활성화를 보인다는 것을 발견하였다. 이 또한 과제에서 주어진 자극 처리를 선호하는 개인의 경우 그렇지 않은 개인보다 신경 자원을 더 효율적으로 활용한다는 선행 연구들을 지지하는 결과이다.

이상 살펴본 연구들은 과제에 포함된 시각, 공간 혹은 언어 정보 처리에 각각 관여하는 특정 뇌 영역의 활성화가 인지양식에 대한 개인의 선호도에 따라 달라짐을 보고하고 있다. 즉, 과제에서 처리해야 하는 자극 양상을 선호하는 인지양식인 개인의 경우 선호하지 않는 개인보다 신경 자원을 더 적게 사용하면서 과제를 수행한다는 것을 공통적으로 보여주고 있다. 그러나 위 연구들의 일부 결과들(예, Hsu et al., 2011; Li et al., 2011; Motes et al., 2008)을 포함하여 다음 절에서 개관할 지능과 관련한 신경효율성을 관찰한 연구 결과들(예, Reichle et al., 2000; Lamm et al., 1999; Boivin et al., 1992; Rypma et al., 2006; Basten et al., 2013)에서 보고한 신경효율성 패턴들은 서로 차이를 보이고 있는데, 이러한 차이는 개인의 선호인지양식과 과제에 포함된 자극의 양상만으로는 설명되지 않고, 오히려 과제의 난이도의 차이로 설명이 가능하다. 따라서 이와 관련된 내용을 다음 절에서 다루고자 한다.

과제 난이도에 따른 신경효율성

지능에 따른 신경효율성을 조사한 지금까지의 연구들은 과제의 난이도가 고-지능 개인이 저-지능 개인보다 더 적은 활성화를 보이는 뇌 영역과 그 활성화 정도에 영향을 미친다는 주장을 뒷받침하는 증거들을 제시하였다(Doppelmayr et al., 2005; Neubauer, & Fink, 2009; Duncan et al., 2000). 구체적으로, Doppelmayr와 동료들(2005)은 참가자들이 고-저의 난이도를 가진 Raven 과제(Raven's intelligence test: Raven & Court, 1998)를 수행하는 동안 EEG 측정을 통해 과제 난이도에 따른 신경 활성화 패턴의 차이를 살펴보았다. 그 결과, 그림 1에 제시된 바와 같이 저-난이도 과제를 수행할 때 고-지능의 참가자들이 저-지능의 참가자들보다 더 낮은 신경 활동을 보이는 것을 확인하였는데, 이는 인지적 과제를 수행할 때 지능이 더 높은 개인이 낮은 개인보다 더 낮은(즉, 더 효율적인) 신경 활성화를 보인다는 Haier와 연구자들(1988)의 “지능의 신경효율성 가설”을 지지하는 결과이다. 그러나 고-난이도 과제를 수행할 때에는 두 집단이 정반대의 신경 활성화를 보이면서 이 가설을 반박하였다. 이 결과들을 바탕으로 이 연구자들은 신경효율성과 관련된 연구들은 제시하는 과제의 난이도를 고려해야 한다고 주장하였다.

Neubauer와 Fink(2009)는 지능에 따른 신경 활성화의 차이를 살펴본 연구들을 통합적으로 분석하고자 하였는데, 그들 또한 신경효율성의 발생 패턴이 연구마다 다른 원인들 중의 하나를 과제 난이도로 보았다. 구체적으로, 난

이도가 낮거나 참가자들이 많은 양의 연습 기회를 가져 많은 인지적 노력이 필요하지 않는 과제가 제시된 연구들의 경우, 고-지능의 개인이 뇌 전반에 걸쳐 더 적은 신경 활성화를 보이면서 과제를 수행함으로써 “지능의 신경효율성 가설”을 지지한 반면, 인지적 요구가 많은 과제를 사용한 연구들의 경우 고-지능의 개인이 과제와 관련된 정보 처리에 직접적으로 관여하는 뇌 영역에서 더 많은 신경 활성화를 보이면서 해당 가설과 반대되는 결과를 보이는 것을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 연구자들은 연구에서 사용되는 과제가 보통 이상의 높은 인지적 정보 처리를 요구하지 않는, 고-지능의 사람과 저-지능의 사람을 나눌 수 있는 정도의 수준이어야 함을 강조하였다.

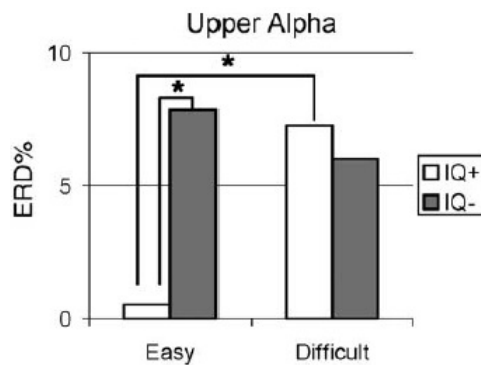


그림 1. Upper Alpha 대역 비동기화에서 과제 난이도와 지능 간의 상호작용을 보여주는 예. Upper Alpha 대역(10-12 Hz)의 사건관련 비동기화(event-related desynchronization, ERD)는 의미적 기억 수행을 반영한다고 알려져 있는데(Klimesch, 1999), 고-지능 참가자들은 저-지능 참가자들보다 저-난이도 과제를 수행할 때 Upper Alpha 대역에서 더 낮은 ERD를 보이는 반면, 고-난이도 과제를 수행할 때에는 반대의 패턴을 보였다(Doppelmayr et al., 2005).

또한, 그들은 과제 난이도의 영향을 특히 많이 받는 뇌 영역으로 전두 피질을 제안하였는데, 이는 후속 연구들에서 계속해서 검증되고 있다(Duncan et al., 2000; Hsu et al., 2011; Rympa et al., 2006; Li et al., 2011).

Duncan과 동료들(2000)은 과제 난이도에 의한 영향을 직접적으로 받는 뇌 영역을 살펴보기 위해 공간적, 언어적, 지각 운동적 반응이 요구되는 과제들을 사용하여 고-난이도 조건과 저-난이도 조건을 동일 양상 내에서 비교하는 fMRI 연구를 수행하였다. 그 결과, 저-난이도 조건보다 고-난이도 조건에서 참가자들의 외측 전두 피질(lateral frontal cortex, LFC)의 활성화가 더 높은 것을 발견하였는데, 특히 이 활성화의 증가는 저-지능의 사람들에게서 더 크게 나타났다. 연구자들은 LFC가 인지적 정보처리 요구가 높을 때 이를 보상하는 기능에 관여하므로, 고-지능 사람들의 경우 과제의 인지적 요구가 그들의 기본 처리 가능 용량을 초과하지 않기 때문에 LFC가 덜 관여했을 것이라고 보았다. Hsu와 동료들(2011)의 연구에서도 참가자들은 난이도가 높은 과제를 수행할 때 하전두회(inferior frontal gyrus)와 중전두회(middle frontal gyrus) 영역에서 더 높은 활성화를 보였고, Rympa와 동료들(2006) 또한 과제 수준에 따라 참가자들의 전전두 영역의 활성화가 달라짐을 발견하였다. Li와 동료들(2011)도 제시된 과제의 수준이 높을수록 좌측 전전두 영역의 활성화가 유의미하게 높아지는 것을 발견하면서 과제의 수준에 따라 신경 활성화의 패턴이 달라질 수 있음을 주장하였다.

과제의 난이도가 너무 낮거나, 혹은 너무 높아서 신경효율성 가설을 지지하지 못하거나

혹은 이에 반하는 결과들을 보고한 또 다른 연구들도 존재한다(Neubauer & Fink, 2009; Neubauer et al., 1999). 구체적으로, Neubauer와 연구자들(1999)은 과제 난이도가 신경 활성화에 미치는 영향을 확인하기 위해 EEG 측정을 통해 고-지능 및 저-지능 참가자들이 고-저 난이도의 Posner 철자 맞추기 패러다임(Posner & Mitchell, 1967)을 수행하는 동안 그들의 뇌 활동을 비교하였다. 이 연구 결과에 따르면, 고-난이도 과제의 경우에만 고-지능 참가자들이 저-지능 참가자들보다 신경 활성화를 더 적게 보였고, 저-난이도 과제의 경우에는 두 집단의 차이가 발견되지 않았다. 이 결과와는 반대로, 너무 높은 과제 난이도에 기인하여 고-지능 참가자는 신경 자원을 최대한 활용해 문제를 해결한 반면, 저-지능 참가자는 문제 해결을 포기하고 신경 자원을 활용하지 않아 신경 활성화 패턴이 반대로 나타난 경우도 존재한다(Neubauer & Fink, 2009). 이러한 결과들을 바탕으로 하여 Neubauer와 Fink (2009)는 난이도에 따른 신경 활성화 패턴의 변화를 그림 2와 같이 도식화하였다. 그들은 저-난이도의 과제를 수행할 때 고-지능의 참가자들이 저-지능의 참가자들보다 더 낮은 신경 활성화(즉, 신경효율성의 패턴)를 보이지만, 난이도가 증가할수록 그 차이는 줄어들고, 난이도가 일정 수준을 초과하는 경우에는 고-지능의 참가자들이 오히려 더 많은 활성화를 보일 것(즉, 신경효율성의 반대 패턴)이라고 예측하였다.

위 연구들처럼 지능에 따른 신경 활성화 패턴의 개인차가 실험에서 주어진 과제의 난이도의 영향을 받는지를 살펴본 연구들은 존재하지만, 선호인지양식에 따른 신경 활성화 패

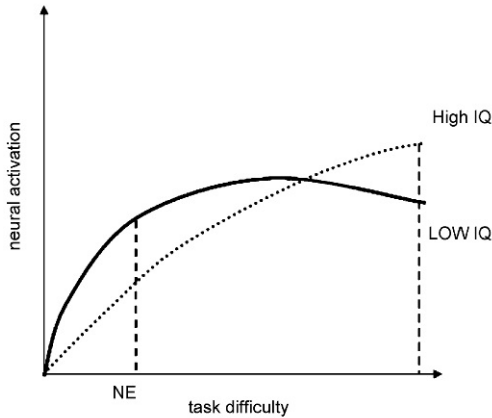


그림 2. 과제 난이도에 따른 신경효율성(neural efficiency, NE) 변화. Neubauer와 Fink(2009)는 저-난이도 과제를 수행 할 때 고-지능의 참가자가 저-지능의 참가자보다 더 적은 신경 활성화를 보이는 반면, 과제의 난이도가 증가할수록 고-지능의 참가자와 저-지능의 참가자 간의 활성화 차이의 정도가 줄어들고, 특히 난이도가 일정 수준을 초과하는 경우 고-지능의 참가자가 오히려 비효율적인 신경 활성화 보일 것으로 예측하였다(Neubauer & Fink, 2009).

턴의 개인차가 과제 난이도에 의한 영향을 받는지에 관해 직접 살펴본 연구는 현재까지 수행되지 않았다. 하지만 선호인지양식이 지능과 높은 정적 상관을 가진다는 연구 결과를 고려해 볼 때(Kirby, Moore, & Schofield, 1988; Mayer & Massa, 2003; Kraemer et al., 2009; Blazhenkov & Kozhenikov, 2009), 과제에서 제시된 자극의 양상만으로는 설명할 수 없는 인지양식과 신경효율성에 관한 연구들 간의 불일치를 Duncan과 동료들(2000)의 주장과 마찬가지로, 과제 난이도라는 변인으로 설명할 수 있을 것이라 예상해 볼 수 있다. 따라서 실제로 과제의 난이도가 선호인지양식에 따른 신경효율성에서의 개인차를 설명할 수 있는지를 기존 연구들을 통해 살펴보고, 그 특징을 체

계적으로 분류해보고자 하였다. 이를 위해, 먼저 과제 난이도를 두 가지 범주로 구분하였다. 구체적으로, 기존에 수행되었던 연구들에서 사용되었던 과제들을, 제시되는 자극들에 대한 단순 비교나 재인 등이 요구되는 저-난이도 과제와 고차 인지과정이 요구되는 고-난이도 과제로 구분한 다음, 각 범주에 포함되는 연구들에서 나타난 신경효율성의 패턴을 살펴보고자 한다.

저-난이도 과제 Motes 등(2008)은 대상-공간 차원으로 참가자들의 선호인지양식을 구분한 다음, fMRI 촬영을 통해 대상-정보처리 과제를 수행할 때 그들의 뇌 활성화를 비교하였다. 시각적으로 제시된 대상자극을 재인하도록 요구하는 이 과제를 수행하는 동안, 대상주의자들은 공간주의자들보다 대상 자극의 처리에 직접적으로 관여하는 LOC 영역과 직접적으로 관여하지 않는 DLPFC와 VLPFC 모두에서 낮은 활성화를 보이면서 뇌 전체적으로 신경을 효율적으로 활용함을 보여주었다.

위 fMRI 연구를 바탕으로 이루어진 Li와 동료들(2011)의 EEG 연구에서도 참가자들을 선호인지양식에 따라 대상주의자와 공간주의자로 구분한 다음, 그들이 정보처리 요구량이 각기 다른 대상정보처리 과제를 수행할 때의 신경 활성화를 비교하였다. 과제의 대상정보처리 요구가 낮은 경우 대상주의자가 공간주의자보다 과제 수행에 직접적으로 관여하는 좌측 두정-후두 영역(parieto-occipital region)뿐만 아니라 DLPFC, VLPFC에서도 더 낮은 활성화를 보이며 뇌 전반적으로 신경 자원을 효율적으로 활용하였다. 반면, 과제의 정보처리 요구

가 높을 경우 대상주의자들은 공간주의자들보다 DLPFC, VLPFC에서만 더 낮은 활성화를 보이고, 좌측 두정-후두 영역에서는 더 높은 활성화를 보이면서 뇌의 일부 영역만 신경 자원을 더 효율적으로 활용하는 결과를 보였다.

Reichle 등(2000)은 선호인지양식이 아닌 과제 양상 별 수행능력에 기초하여 참가자들을 구분하여 유사한 실험을 진행하였다. 구체적으로, 읽기 폭 과제와 심적 회전 과제를 통해 참가자들의 언어, 공간 인지능력 각각을 평가한 다음, fMRI 촬영을 통해 그들이 지각 및 재인 수준을 요구하는 문장-그림 검사 과제를 수행하는 동안 선행 연구를 바탕으로 실험 전 지정된 관심 영역(region of interest, ROI)에 대한 활성화를 관찰하였다. 그 결과, 언어 인지능력이 뛰어난 사람일수록 과제를 언어적 전략으로 해결해야 하는 조건에서 언어 중추인 브로카 영역에서 더 낮은 활성화가 일어난 반면, 공간 인지능력이 뛰어난 사람일수록 과제를 시각-공간적 전략으로 해결하는 조건에서 공간적 정보 처리와 직접적인 관련이 있다고 알려진 좌측 두정 피질에서 낮은 활성화가 나타났다. 즉, 과제가 지각 및 재인 수준의 처리를 요구하는 경우, 과제 처리에 직접적으로 관여하는 영역들이 더 낮은 신경 활성화를 보이면서 과제를 수행하는 것을 발견하였다.

Lamm과 동료들(1999) 또한 공간 인지능력에 따라 참가자들을 구분한 다음, EEG 측정을 통해 시각-공간 과제를 수행하는 동안 그들의 신경 활성화를 비교하였다. 이 연구에서도 공간 인지 능력이 높은 참가자가 낮은 참가자보다 집행기능(executive function)에 관여하는 전두 영역뿐만 아니라 공간 정보 처리에 관여한다

고 알려진 두정 영역에서 더 낮은 신경 활성화를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

저-난이도 과제가 제시된 위 연구들에서는 과제 관련 인지양식을 선호하거나 관련 인지능력이 뛰어난 사람들이 그렇지 않은 사람들보다 과제와 관련된 양상의 정보처리에 직접적으로 관여하는 뇌 영역과, 관련이 적은 뇌 영역 모두에서 더 적은 신경 활성화를 보이는 신경효율성의 패턴을 보였다. 이러한 패턴은 저-난이도 과제가 많은 인지적 처리를 요구하지 않기 때문으로 보인다. 즉, 많은 인지적 처리가 요구되지 않기 때문에 특정 양상의 자극에 대한 정보처리를 선호하거나 관련된 인지능력이 높은 사람들의 경우, 그 자극의 처리에 직접적으로 관여하는 뇌 영역들과 집행기능을 담당하는 전두 영역의 신경 자원을 그렇지 않은 사람들만큼 활용하지 않고도 동일하게 혹은 더 우수하게 과제를 수행할 수 있다는 것이다. 이와 다르게, 인지적 처리 요구가 많은 고-난이도의 과제가 제시된 연구들에서는 신경 활성화가 다양한 패턴을 보이고 있다.

고-난이도 과제 고차 인지과정에 관한 처리를 요구하는 고-난이도 과제를 사용한 연구들의 결과들을 살펴보면, 과제에 포함된 자극에 대한 정보처리를 선호하는 참가자가 그렇지 않은 참가자보다 전두 영역에서 더 낮은 활성화를 보였다는 점에서 저-난이도 과제 연구들의 결과와 일치하였다. 반면, 과제에 제시된 자극 양상을 선호하는 참가자들이 자극 처리에 직접 관여하는 뇌 영역에서는 더 높은 활성화를 보이면서 저-난이도 과제를 제시한 연구들과는 다른 신경 활성화 패턴을 보였다.

구체적으로, Hsu와 동료들(2011)은 언어-시각 차원에서 참가자들의 선호인지양식을 구분한 다음, fMRI 촬영을 통해 색 지식 회상 과제를 수행하는 동안 그들의 신경 활성화를 살펴보고 그 활성화 정도에 과제 난이도가 미치는 영향을 살펴보았다. 이들이 연구에서 사용한 저-난이도 과제는 비교적 적은 인지적 정보처리를 요구하는 색상 간 범주 판단 과제였고, 고-난이도 과제는 세부적이고 특정한 색 정보를 요구하는 색상 내 범주 판단 과제였다. 이 연구 결과에 따르면 저-난이도 과제를 수행할 때보다 고-난이도 과제를 수행할 때 참가자의 시각 인지양식 선호가 높을수록 색상 정보 처리에 직접적으로 관여하는 설회(lingual gyrus)의 활성화 증가량은 높은 반면, 직접적인 관여를 하지 않는 전두 영역의 활성화 증가량은 적은 경향을 보였다. 이는 색 지식 회상 과제의 정보 처리 요구량이 증가할 때 시각주의자가 언어주의자보다 제시된 자극의 양상과 직접적으로 관련이 있는 뇌 영역인 설회에 신경 자원을 더 집중적으로 투자하고, 직접적으로 관련이 없는 전두 영역은 비교적 덜 활용하기 때문으로 볼 수 있다. 이는 또한, 과제 수행 시 과제 관련 인지능력이 높은 사람들이 낮은 사람들 보다 과제에 직접적으로 관여하는 뇌 영역들을 더 집중적으로 활용하고, 관련이 적은 뇌 영역들은 더 적게 활용함으로써 신경효율성을 보인다는 Haier(1992)의 견해와도 일맥상통한다.

또 다른 고-난이도 과제를 사용한 Boivin 등(1992)의 연구에서도 일부 뇌 영역에서는 인지능력이 높은 참가자가 인지능력이 낮은 참가자보다 더 낮은 신경 활성화를 보이고(즉, 신

경 자원이 효율적으로 활용되고), 다른 일부 영역에서는 더 높은 신경 활성화를 보이는(즉, 신경 자원이 비효율적으로 사용되는) 것이 발견되었다. 구체적으로, 이 연구자들은 PET(positron emission tomography)를 통해 참가자들이 음운론적, 의미론적 언어 기억들을 분류하는 고차 인지 과정이 필요한 과제인 언어 유창성 과제를 수행하는 동안 그들의 뇌 활성화를 관찰하였다. 그 결과, 과제 수행 점수는 과제 수행에 직접적으로 관여하지 않는 양측 전두 피질(frontal cortex)의 포도당 대사율(local cerebral metabolic rate of glucose consumption, LCMRglc)과 부적 상관을(각각, $r=-.44$, $r=-.59$), 과제 수행에 직접적으로 관여한다고 알려진 양측 하측두피질(inferior temporal cortex)의 포도당 대사율과는 정적 상관을 보였다(각각, $r=.56$, $r=.16$). 즉, 참가자의 언어 인지능력이 높을수록 과제 수행에 직접적으로 관여하지 않는 영역에서는 더 낮은 활성화를 보이고, 과제 수행에 직접적으로 관여하는 영역에서는 더 높은 활성화를 보였다. 연구자들은 이러한 연구 결과가 신경 자원을 과제 처리와 직접적인 관련 없는 뇌 영역에 비교적 덜 투자하고 과제 처리에 직접적으로 관여하는 영역에 더 많이 투자하는 고-언어 인지능력 참가자들의 인지적 효율성을 반영하는 것일 수 있으며, 이전 연구 결과들을 지지함을 주장하였다(Haier et al., 1988; Parks et al., 1988). 이는 이후 동일한 과제를 사용한 Papousek과 Schuster(2004)의 연구에서도 확인되었는데, 과제 수행 시 고-언어 인지능력 참가자가 저-언어 인지능력 참가자보다 언어 과제 처리와 관련이 높다고 알려진 좌반구에서 더 높은 신

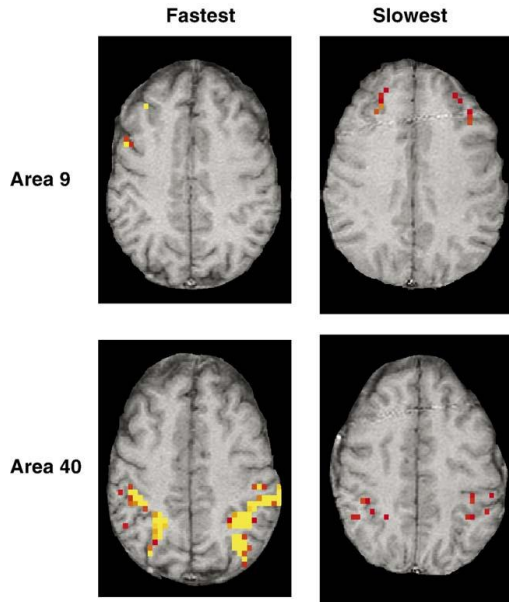


그림 3. 수행이 빠른 참가자와 수행이 느린 참가자의 두정 영역. 배측 전전두 피질에서의 활성화 비교. 숫자-부호 치환 과제 수행 시, 수행이 빠른 참가자들(fastest)이 수행이 느린 참가자들(slowest)보다 과제 수행에 직접적으로 관여하는 두정 영역(BA 40)에서 더 많은 활성화를 보인 반면, 그렇지 않은 배측 전전두 피질(BA 9)에서는 더 적은 활성화를 보였다(Rympa et al., 2006).

경 활성화를 보였고, 과제와 관련이 적은 우반구에서는 더 낮은 활성화를 보였다.

위 연구들을 지지하는 또 다른 연구에서 Rympa와 동료들(2006)은 참가자들이 숫자-부호 치환 테스트(digit - symbol substitution test)를 수행하는 동안 fMRI 촬영을 통해 그들의 신경 활동을 관찰하였다. 연구 결과에 따르면 모든 참가자들의 과제 수행의 정확도는 비슷한 수준이었지만, 수행이 빠른 참가자들은 수행이 느린 참가자들과 비교했을 때 과제 수행에 직접적으로 관여하는 두정 영역(BA 40)에서 더 높은 활성화를 보인 반면, 그렇지 않은 배측

전전두 피질(dorsal prefrontal cortex, DPFC, BA 9)에서는 더 낮은 활성화를 보였다(그림 3). 또한, 연구자들은 인과성 검증을 통해 전전두 영역과 두정 영역 간의 관계를 분석하였는데, 수행이 느린 참가자들은 두 영역 간의 관계가 더 광범위하고 경로가 다양한 반면에 수행이 빠른 참가자들은 두 영역 간의 연결이 직접적이어서 최소한의 DPFC의 집행 기능을 활용하고도 빠른 수행을 할 수 있음을 주장하였다.

위와 같은 신경 활성화 패턴은 기억의 유지, 조작, 갱신 등이 필요한 작업기억 과제를 제시한 Basten과 동료들(2013)의 연구에서도 발견되었다. 그들은 고-난이도 과제 수행 시 고-지능의 참가자가 저-지능의 참가자보다 과제 수행과 직접적인 관련이 있는 영역에서는 신경 활성화가 더 높았으며, 비교적 관련이 적은 영역에서는 더 낮은 신경 활성화를 보임을 발견하였다. 따라서 지능의 개인차에 따른 신경 활성화의 차이를 관찰하고자 할 때, 과제와 정적인 관련성을 가지는 신경 네트워크(task positive network)와 과제 수행과는 부적 관련성을 가지는 신경 네트워크(task negative network)를 구분하여 관찰할 필요가 있음을 제안하였다.

고-난이도 과제가 제시된 위 연구들에서는 저-난이도 과제가 제시된 연구들과 서로 다른 신경 활성화 패턴이 나타났다. 고-난이도 과제를 수행할 때 과제 관련 인지양식을 선호하거나 관련 인지능력이 높은 사람들이 그렇지 않은 사람들보다 과제에 직접적으로 관여하는 뇌 영역에서는 더 높은 활성화를, 관련이 적은 뇌 영역에서는 더 낮은 활성화를 보였다. 과제 관련 영역에서의 더 높은 활성화는 인지

적 처리 요구가 많은 과제를 수행할 때, 관련 인지양식을 선호하거나 관련 인지능력이 뛰어난 사람들이 그렇지 않은 사람들보다 인지적 자원을 과제 수행에 직접적으로 관여하는 영역에 더 집중적으로 투자할 수 있기 때문이라고 해석할 수 있다. 반면, 과제 관련 인지양식 비선호자나 관련 인지능력이 낮은 사람들은 과제 수행에 직접적으로 관여하지 않는 영역들에 신경 자원을 더 많이 투자하여 과제를 해결하려고 하기 때문에 과제 수행과 관련이 적은 뇌 영역에서 더 높은 활성화를 가지는 것으로 보인다.

이외의 요인: 지능, 성별 및 연령

신경효율성에서의 개인차를 인지양식이 아닌 다른 변인들로 설명하고자 하는 시도는 계속해서 있어 왔는데, 그 중에서도 지능, 성별, 그리고 연령, 이 세 가지 변인은 여전히 많은 연구자들의 주요관심사이며 신경효율성과의 관련성을 알아보하고자 하는 연구들이 계속해서 이루어지고 있다. 흥미롭게도 지능, 성별, 연령, 이 세 가지 변인들은 선호인지양식과도 관련성이 높는데, 지금부터 이 변인들에 따른 신경효율성에서의 개인차를 선호인지양식의 관점에서 살펴보고자 한다.

지능 Haier와 동료들(1988)은 PET 연구를 통해 지능이 더 높은 사람들이 지능이 낮은 사람들에 비해 동일한 과제를 수행할 때 더 낮은 신경 활성화를 보이는 것을 발견하면서 “지능의 신경효율성 가설”을 제시하였는데, 이 가설은 많은 연구 결과들에 의해 검증되고 현

재에도 높은 지지를 받고 있다. 지능은 그 종류가 다양한데, 일반지능 뿐만 아니라 그 외의 다양한 종류의 지능에 따라서도 신경효율성의 개인차가 나타나는 것이 후속 연구들을 통해 계속해서 발견되고 있다(Gray, Chabris, & Braver, 2003; Lamm et al., 1999; Neubauer & Fink, 2009; Neubauer et al., 1995; Vitouch, Bauer, Gittler, Leodolter, & Leodolter, 1997).

지능과 개인이 선호하는 인지양식 간의 관계를 살펴본 연구들 또한 존재하는데, 그 중 시각-언어 차원의 인지양식 선호도와 관련 지능 점수 간의 정적인 관련성을 발견한 연구 결과들이 보고되었다. 구체적으로, 언어 인지양식을 선호하는 개인의 경우 언어적 인지능력이 높고, 시각적 인지양식을 선호하는 개인의 경우 시각적 인지능력이 높은 것을 발견한 연구들이 있는데(Kirby, Moore, & Schofield, 1988; Mayer & Massa, 2003), 이는 언어-시각 인지양식의 선호도와 관련 인지적 능력과의 정적 관련성을 시사한다.

Kraemer와 동료들(2009) 또한 웨슬러 성인 지능 검사의 하위 검사인 지각 구조화 지수(perceptual organization index, POI) 및 언어 이해 지수(verbal comprehension index, VCI)와 VVQ 점수 간의 관련성을 살펴보았다. 피어슨 상관 분석 결과, POI-VCI의 점수(높을수록, 공간적 지능이 높음)는 VVQ의 점수(높을수록, 시각 인지양식 선호가 높음)와 $r=.63$ 의 유의미한 정적 상관을 가지면서 선호인지양식과 관련 지능 간의 관련성을 다시 한 번 보여주었다.

Blazhenkov와 Kozhenikov(2009) 또한 OSIVQ를 통해 언어-공간-대상 차원으로 참가자들의 선호인지양식 점수를 측정된 다음 언어-공간-대

상 차원의 선호인지양식과 관련 지능 간의 관련성을 살펴보았다. 그 결과, 공간 인지양식 선호 점수는 공간 지능과 관련된 종이 접기 과제와 심적 회전 과제의 수행 점수와 각각 $r=.47$, $r=.31$ 의 유의미한 정적 상관을 보였으며, 언어 인지양식 선호 점수는 언어 지능 측정 도구인 단어 배열하기와 $r=.20$ 의 정적 상관을 보이면서 선호인지양식과 관련 인지능력 간의 정적 관련성을 보여주었다.

인지 과제를 수행하는 능력을 나타내는 지능과 주어진 정보를 처리하는 방식에 대한 선호를 나타내는 선호인지양식은 높은 정적 상관을 가지지만, 선호인지양식은 능력이 아닌 선호를 나타낸다는 점에서 지능 변인과는 뚜렷한 차이를 가지는 하나의 독립적인 변인으로 볼 수 있다. 지금까지 신경효율성 발생 패턴에서의 개인차를 지능의 개인차로 설명하고자 하는 연구들이 많이 있어왔으나, 지능의 개인차만으로는 신경 활성화의 개인차 모두를 설명할 수는 없는 연구 결과들도 존재한다(Larson, Haier, LaCasse, & Hazen, 1995; Gray et al., 2003; Lee et al., 2006). 선호인지양식과 관련 지능 간의 정적인 관련성을 보여주는 위 연구들은 이렇게 지능만으로는 설명할 수 없는 신경 활성화의 개인차를 선호인지양식에서의 개인차로도 설명할 수 있는 가능성을 시사한다. 즉, 신경효율성의 발생 패턴의 차이를 지능이라는 단일 변인으로 설명하는 것보다 개인이 선호하는 인지양식의 차이를 고려하는 것이 필요할 것이다.

성별 지능의 하위 척도들과 성별 차이를 살펴본 연구들에 따르면 남성은 여성보다 시공

간적 지능이, 여성은 남성보다 언어적 지능이 높은 경향이 있다(Hyde & Linn, 1988; Mann, Sasanuma, Sakuma, & Masaki, 1990). 흥미롭게도 이를 지지하는 일부 신경학적 연구에서 남성의 뇌는 주로 시공간적 능력과 관련된 과제 수행 시에만, 여성의 뇌는 주로 언어적 지능과 관련된 과제 수행 시에만 신경효율성을 보인다는 것이 발견되면서 성별도 신경효율성 발생 패턴에 영향을 미치는 또 하나의 변인이라는 주장이 제기되었다. 구체적으로, Neubauer와 동료들(2002)의 연구에 따르면 남성은 형태적-공간적 인지양식과 관련된 과제를 수행할 때에만, 여성은 언어적 인지양식과 관련된 과제를 수행할 때에만 신경효율성을 보였는데, 이러한 연구 결과는 그들의 후속 연구를 통해 다시 한 번 확인되었다(Neubauer et al., 2005). 이를 더 확장한 이후의 연구에서는 남성과 여성이 언어 지능 관련 과제를 수행할 때 다른 패턴의 신경 활성화를 보인다는 것을 발견하였는데, 고-언어 지능을 가진 여성은 언어 과제를 수행하는 동안 평균적-언어 지능을 가진 여성보다 신경을 효율적으로 사용하는데 반해, 고-언어 지능을 가진 남성의 경우 평균적-언어 지능을 가진 남성보다 신경을 더 비효율적으로 사용한다고 보고하였다. 또한, Jausovec(2012)은 공간적 지능 측정 도구인 심적 회전 과제를 수행할 때 남성이 여성보다 과제 수행에 직접적으로 관여하는 뇌 영역에서 더 적은 활성화를 보이는 것을 발견하고 성별에 따른 신경효율성의 개인차를 주장하였다.

성별에 따른 신경효율성 발생 패턴을 살펴본 대부분의 연구들은 위와 같은 결과를 보여주었지만, 발생 패턴 차이의 원인에 대한 해

석은 다양한 관점에서 이루어지고 있다. 예컨대, 사회적 편견의 영향(Dunst, Benedek, Bergner, Athenstaedt, & Neubauer, 2013), 해부학적 뇌 구조의 차이(Haier, Jung, Yeo, Head, & Alkire, 2005; Jacobs, Gaulin, Sherry, & Hoffman, 1990), 생물학적 호르몬의 차이(O'Connor, Archer, Hair, & Wu, 2001; Silverman, Kastuk, Choi, & Phillips, 1999) 등의 관점에서 설명되고 있는데, 최근에는 선호인지양식으로 이를 설명하고자 하는 주장이 제기되었다. 특히, 언어-공간-대상 차원의 선호인지양식을 살펴본 Blajenkova와 연구자들(2006; 2009)은 여성의 경우 공간주의자보다 대상주의자의 비율이 더 높은 반면에 남성은 공간주의자의 비율이 더 높고, 선호인지양식과 해당 인지 능력 간에 관련이 있음을 보고하였다. 비록 선호인지양식에서의 차이를 성별로 구분할 수 있을 만큼의 유의미한 수준은 아니지만, 선호인지양식의 성별의 관련성을 추정해볼 수 있고, 과제에 따른 성별 간 신경효율성 패턴의 차이가 성별 간 선호하는 인지양식에서의 차이로도 설명될 수 있음을 보여주는 연구 결과이다.

연령 연령이 증가함에 따라 뇌에서 구조적, 기능적 퇴화 과정이 진행되면서 신경 활동에 변화가 생기는데, 이에 따라 신경효율성의 발생 패턴도 변화함을 주장하는 연구 결과들이 등장하였다. Rympa와 연구자들(2005)은 청년집단과 노년집단이 상반된 신경효율성 패턴을 보이는 것을 발견하였다. 이 연구에서는 참가자들을 청년집단과 노년집단으로 구분하여 그들이 작업기억 과제를 수행하는 동안의 뇌 활성화를 비교하였다. 연구 결과에 따르면, 청년

집단에서는 과제 수행 점수와 DPFC의 활성화가 $r=-.58$ 의 부적 상관을 보이면서 신경효율성 가설을 지지한 반면, 노년집단에선 과제 수행 점수와 DPFC의 활성화 간 $r=.65$ 의 정적 상관을 보이면서 청년집단과 상반되는 신경 활성화를 보였다. 이는 노년집단이 부족한 신경 자원으로 청년집단과 동일한 양의 정보를 처리하기 위해 보상적 전략을 활용하기 때문으로 볼 수 있다.

Reuter-Lorenz와 연구자들(2000) 또한 청년집단과 노년집단이 언어적, 공간적 작업기억 과제 각각을 시행하는 동안의 뇌 활성화를 비교하였다. 연구 결과에 따르면 청년집단의 경우 언어적 작업기억 과제를 수행할 때 좌측 DLPFC에서만 높은 활성화가 일어나고, 공간적 작업기억 과제를 수행할 때에는 우측 DLPFC에서만 높은 활성화가 일어나는 반구 편향적 신경 활동을 보인 반면, 노년집단의 경우 언어적 과제 수행 시에도, 공간적 과제 수행 시에도 양측 DLPFC의 활성화를 보였다. 연구자들은 이러한 연구 결과가 노년집단이 연령 증가에 따른 작업기억 용량의 감퇴를 보상하기 위해 청년집단이 활용하지 않았던 나머지 반구의 신경 자원의 활용이 필요하기 때문이라고 설명하였다.

그런데 최근, 노화에 따른 작업기억 처리 용량의 감퇴 속도가 자극의 양상에 따라 다르다는 연구 결과들이 등장하였다(Jenkins et al., 2000; Miyake et al., 2001; Shaw, Helmes, & Mitchell, 2006; Verhaeghen et al., 2006; Verhaeghen et al., 2002). 일부 연구자들은 시공간적 작업기억 용량이 언어적 작업기억 용량보다 노화에 더 많이 영향을 받는다는 주장을,

일부 연구자들은 반대의 주장을 펼치고 있는 상황이지만, 과제에서 제시된 자극의 양상에 따라 노년집단의 신경 활성화 감퇴 속도와 과제 수행 능력에서 차이가 존재한다는 견해는 일치한다. 청년집단을 대상으로 과제 자극의 양상에 따라 신경 활동을 살펴본 연구에 따르면 시공간적-언어적 인지 능력과 공간-언어 차원의 선호인지양식 간의 정적인 관련성이 보고되었는데(Blazhenkova & Kozhevnikov, 2009), 이는 노년집단의 시공간적-언어적 인지 능력에 차이가 선호인지양식과 관련이 있을 가능성을 제시해준다.

논의 및 결론

지금까지 신경효율성의 개인차를 보고한 연구 결과들을 선호인지양식의 관점에서 재해석해보고자 다양한 연구들을 개관하였다. 또한, 해당 연구들에서 제시된 과제의 특성 차이 또한 연구들 간 상충되는 결과를 발생시키는 주요 원인들 중 하나로 보고 이를 중심으로 관련 연구들을 검토하였고, 주요 내용은 다음과 같다.

첫째, 제시된 과제의 자극 양상에 따른 신경효율성의 발생 패턴 차이를 확인하기 위해, 과제를 구성하고 있는 자극양상이 그림-언어 자극인 연구들과 대상-공간-언어 자극인 연구들을 구분하여 그 연구 결과들을 살펴보았다. 연구들에서 나타난 신경효율성의 발생 패턴은 과제에 사용된 자극의 양상에 따라 서로 다르게 나타났는데, 이는 신경효율성이 과제 수행에 직접적으로 관여하는 영역의 높은 활성화와 관련 없는 영역의 낮은 활성화로 만들어지

는 신경활동임을 고려할 때(Jausovec & Jausovec, 2001), 과제에 제시된 자극양상에 따라 신경효율성의 발생 패턴이 달라질 수 있음을 시사한다.

둘째, 여러 연구들에서 보고한 결과들 간의 불일치를 연구마다 제시한 과제의 난이도로 설명할 수 있는지 알아보기 위해 관련 연구들을 고-난이도 과제를 제시한 연구들과 저-난이도 과제를 제시한 연구들로 구분하여 살펴보았다. 고-난이도 과제를 사용한 연구들의 경우, 공통적으로 과제 관련 인지양식을 선호하거나 관련 인지능력이 높은 사람이 낮은 사람보다 과제 수행에 직접적으로 관여하는 영역은 집중적으로 더 많이 활용하고 그 외의 영역은 더 적게 활용하는 신경효율성 패턴을 보였다. 반면, 저-난이도 과제를 제시한 연구들의 경우 과제 관련 인지양식을 선호하거나 관련 인지 능력이 높은 사람이 그렇지 않은 사람보다 두 영역 모두를 더 적게 활용하는 신경효율성 패턴을 보였는데, 이는 신경 활성화를 해석하는데 있어서 과제의 난이도 또한 중요한 변인임을 시사한다.

셋째, 본 연구에서는 지능, 성별, 연령 등의 개인차에 따른 신경효율성의 발생 패턴의 차이를 선호인지양식의 관점에서 재해석해보고자 하였다. 선호인지양식과 해당 인지 능력 간의 정적 관련성을 살펴본 연구들이 제시되고 있는데, 이는 인지 능력에 따른 신경효율성 발생 패턴의 차이를 선호인지양식의 관점에서도 설명할 수 있는 가능성을 보여준다. 또한, 성별에 따라 선호하는 인지양식이 다름을 보여주는 연구들은 성별에 따른 신경효율성 발생 패턴의 차이를 선호인지양식의 관점

에서도 설명할 수 있는 가능성을 시사한다. 아직까지 연령과 선호인지양식 간의 관련성을 살펴본 연구는 이루어지지 않았으나, 노년집단의 신경 활성화 감퇴 정도와 과제 수행 능력이 과제에서 제시된 자극의 양상에 따라 다르다는 연구 결과들은 연령에 따른 신경효율성 발생 패턴의 변화를 선호인지양식으로 설명할 가능성이 있음을 암시하고 있다.

지금까지 이루어진 신경효율성과 관련된 연구들은 다양한 종류의 자극양상으로 구성된, 각기 다른 수준의 과제들을 사용하였는데, 이는 선호인지양식에 따른 신경효율성 발생 패턴에 대한 일관된 연구 결과를 얻는 것을 어렵게 한다. 이에 본 연구에서는 이후 관련 연구 결과들을 해석하는데 있어 과제에 직접적으로 관여하는 영역과 이 외의 영역으로 구분하여 살펴보아야 함을 제안한다. 무엇보다도, 신경효율성 발생을 연구하는데 있어서 과제에서 제시되는 자극의 양상과 과제의 난이도를 고려한 표준화된 과제의 개발을 통해 일관성 있는 후속 연구들이 이루어져야 할 것이다. 게다가, 일부 연구자들은 관심 영역(ROI)을 지정하여 해당 영역에서의 활성화만을 관찰하였는데(Reichle et al., 2000; Motes et al., 2008; Rympe et al., 2006), 과제의 자극양상과 난이도에 따라 신경 활성화 정도가 낮게 나타나는 뇌 영역과 높게 나타나는 뇌 영역이 달라짐을 고려한다면, 전반적인 뇌 영역들에 대한 분석이 반드시 함께 이루어져야 할 것이다.

또한 지금까지 지능, 성별, 연령 변인에 따른 신경효율성 발생 패턴의 차이를 성별에 따른 생물학적, 해부학적 차이로 설명하고자 하는 연구들은 많이 이루어져 왔지만, 선호인지

양식의 차이로 설명하고자 한 연구는 전무한 상황이다. 이후 연구에서는 각각의 변인들이 신경효율성 발생 패턴에 개별적으로 미치는 영향을 살펴보는 것보다 선호인지양식과의 상호작용을 통해 신경효율성 패턴에 어떻게 영향을 미치는지, 그리고 각각의 변인만으로는 설명하기 어려운 신경효율성 발생 패턴에서의 개인차를 선호인지양식의 관점에서 어떻게 해석할 수 있는지 살펴보아야 할 것이다.

본 개관 연구의 한가지 제한점은 다음과 같다. 즉, 본 개관에서는 인지양식과 신경효율성 간의 관계를 강조하기 위하여 이전 연구들에서 다양한 변인으로 측정되었던 결과들을 인지양식의 관점에서 재해석하고자 하였다. 하지만 특정 인지양식에 대한 선호의 높고 낮음은 관련 자극들을 사용한 과제의 수행의 높고 낮음과 관계가 있다(예, Blazhenkova & Kozhevnikov, 2009; Kozhevnikov, et al., 2002). 즉, 시각 양식을 선호하는 개인은 언어 양식을 선호하는 개인보다 시각 과제를 더 잘 수행하는 경향이 있으며, 이는 언어 양식을 선호하는 개인이 시각 과제를 선호하는 개인보다 동일한 과제에 대한 난이도를 더 높게 인식했을 가능성이 있다. 그러나 본 개관에서는 이러한 요인들에 대한 고려는 포함하지 않았는데, 이는 이후 경험적 연구를 통해 밝혀져야 할 필요가 있다.

마지막으로, 국내에서 이루어진 인지양식 관련 연구들을 살펴보면 시각-언어 차원(도경수 & 황혜란, 2006; 조경자 & 한광희, 2002), 대상-공간-언어 차원(신경희 & 김초복, 2013)뿐만 아니라 전체-분석(wholistic-analytic) 차원(이태연, 2008), 장독립-장의존(field independent-field

dependent) 차원(김선연 & 조규락, 2010) 등의 다양한 차원에서 인지양식에 따른 인지 능력에서의 개인차를 살펴본 연구들이 존재한다. 하지만, 아직까지 위 인지양식들에 따른 신경효율성 발생 패턴을 살펴본 연구는 전무한 상황이다. 따라서 선호인지양식에 따른 행동적 개인차뿐만 아니라 신경효율성의 발생 여부와 발생 패턴에서의 차이 또한 살펴보아야 할 것이다.

결론적으로, 신경효율성의 발생 패턴에 관한 연구 결과들이 혼재된 상황에서 본 연구는 통합적 결론을 도출하는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 신경효율성의 발생 패턴을 살펴보고자 하는 연구들이 일관된 연구 결과를 도출하기 위해서는 과제의 자극양상과 난이도를 고려하는 것이 중요하다. 또한 지능, 성별, 연령 등의 다른 참가자 변인들에 따른 신경효율성 발생 패턴의 변화를 선호인지양식의 관점으로도 설명할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김선연, 조규락 (2010). 상이한 인지양식이 메타인지에 미치는 영향. *교육정보미디어연구*, 16(2), 177-196.
- 도경수, 황혜란 (2006). 멀티미디어 학습에서 인지 양식과 제시 순서가 파지와 이해에 미치는 영향. *인지과학*, 17(3), 231-253.
- 신경희, 김초복 (2013). 대상, 공간 및 언어 인지양식에 따른 작업기억 과제 수행의 개인차. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 25(4), 539-563.
- 이태연 (2008). 범주학습에서 범주화 방략에 미치는 인지양식의 효과. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 20(4), 339-355.
- 조경자, 한광희 (2002). 멀티미디어 환경에서 인지양식이 학습수행에 미치는 영향. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 14(3), 165-185.
- Basten, U., Stelzel, C., & Fiebach, C. J. (2011). Trait Anxiety Modulates the Neural Efficiency of Inhibitory Control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(10), 3132-3145.
- Basten, U., Stelzel, C., & Fiebach, C. J. (2012). Trait anxiety and the neural efficiency of manipulation in working memory. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 12(3), 571-588.
- Basten, U., Stelzel, C., & Fiebach, C. J. (2013). Intelligence is differentially related to neural effort in the task-positive and the task-negative brain network. *Intelligence*, 41(5), 517-528.
- Blajenkova, O., Kozhevnikov, M., & Motes, M. A. (2006). Object-spatial imagery: New self-report imagery questionnaire. *Applied Cognitive Psychology*, 20(2), 239-263.
- Blazhenkova, O., & Kozhevnikov, M. (2009). The new object-spatial-verbal cognitive style model: Theory and measurement. *Applied Cognitive Psychology*, 23(5), 638-663.
- Boivin, M. J., Giordani, B., Berent, S., Amato, D. A., Lehtinen, S., Koeppel, R. A., et al. (1992). Verbal fluency and positron emission tomographic mapping of regional cerebral glucose metabolism. *Cortex*, 28(2), 231-239.

- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1996). Object and spatial visual working memory activate separate neural systems in human cortex. *Cerebral Cortex*, 6(1), 39-49.
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Sauseng, P., Hodlmoser, K., Stadler, W., & Hanslmayr, S. (2005). Intelligence related differences in EEG-bandpower. *Neuroscience Letters*, 381(3), 309-313.
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Stadler, W., Pollhuber, D., & Heine, C. (2002). EEG alpha power and intelligence. *Intelligence*, 30(3), 289-302.
- Duncan, J., Seitz, R. J., Kolodny, J., Bor, D., Herzog, H., Ahmed, A., . . . Emslie, H. (2000). A neural basis for general intelligence. *Science*, 289(5478), 457-460.
- Dunst, B., Benedek, M., Bergner, S., Athenstaedt, U., & Neubauer, A. (2013). Sex differences in neural efficiency: Are they due to the stereotype threat effect? *Personality and Individual Differences*, 55(7), 744-749.
- Gerlic, I., & Jausovec, N. (1999). Multimedia: Differences in cognitive processes observed with EEG. *Educational Technology Research and Development*, 47(3), 5-14.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 6(3), 316-322.
- Haier, R. J., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K., & Alkire, M. T. (2005). The neuroanatomy of general intelligence: sex matters. *Neuroimage*, 25(1), 320-327.
- Haier, R. J., Siegel, B. V., Jr., 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(1), 134-143.
- Haier, R. J., Siegel, B. V., Nuechterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J. C., Paek, J., . . . Buchsbaum, M. S. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, 12(2), 199-217.
- Hsu, N. S., Kraemer, D. J., Oliver, R. T., Schlichting, M. L., & Thompson-Schill, S. L. (2011). Color, context, and cognitive style: variations in color knowledge retrieval as a function of task and subject variables. *The Journal of Neuroscience*, 23(9), 2544-2557.
- Hyde, J. S., & Linn, M. C. (1988). Gender differences in verbal ability: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 104(1), 53.
- Jacobs, L. F., Gaulin, S. J., Sherry, D. F., & Hoffman, G. E. (1990). Evolution of spatial cognition: sex-specific patterns of spatial behavior predict hippocampal size. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(16), 6349-6352.
- Jausovec, N. (1998). Are gifted individuals less chaotic thinkers? *Personality and Individual Differences*, 25(2), 253-267.
- Jausovec, N. (2012). Sex differences in event-related

- potential components during the solution of complex mental rotation tasks. *Neuroreport*, 23(6), 360-363.
- Jausovec, N., & Jausovec, K. (2001). Differences in EEG current density related to intelligence. *Cognitive Brain Research*, 12(1), 55-60.
- Jausovec, N., & Jausovec, K. (2004). Differences in induced brain activity during the performance of learning and working-memory tasks related to intelligence. *Brain Cognition*, 54(1), 65-74.
- Jenkins, L., Myerson, J., Joerding, J. A., & Hale, S. (2000). Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging*, 15(1), 157-175.
- Kirby, J. R., Moore, P. J., & Schofield, N. J. (1988). Verbal and visual learning styles. *Contemporary Educational Psychology*, 13, 169-184.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2), 169-195.
- Kozhevnikov, M. (2007). Cognitive styles in the context of modern psychology: toward an integrated framework of cognitive style. *Psychological Bulletin*, 133(3), 464-481.
- Kozhevnikov, M., Hegarty, M., & Mayer, R. E. (2002). Revising the visualizer-verbalizer dimension: Evidence for two types of visualizers. *Cognition and Instruction*, 20(1), 47-77.
- Kozhevnikov, M., Kosslyn, S., & Shephard, J. (2005). Spatial versus object visualizers: a new characterization of visual cognitive style. *Memory & Cognition*, 33(4), 710-726.
- Kraemer, D. J., Rosenberg, L. M., & Thompson-Schill, S. L. (2009). The neural correlates of visual and verbal cognitive styles. *The Journal of Neuroscience*, 29(12), 3792-3798.
- Lamm, C., Bauer, H., Vitouch, O., & Gstattner, R. (1999). Differences in the ability to process a visuo-spatial task are reflected in event-related slow cortical potentials of human subjects. *Neuroscience Letters*, 269(3), 137-140.
- Larson, G. E., Haier, R. J., LaCasse, L., & Hazen, K. (1995). Evaluation of a "mental effort" hypothesis for correlations between cortical metabolism and intelligence. *Intelligence*, 21(3), 267-278.
- Lee, K. H., Choi, Y. Y., Gray, J. R., Cho, S. H., Chae, J.-H., Lee, S., & Kim, K. (2006). Neural correlates of superior intelligence: stronger recruitment of posterior parietal cortex. *Neuroimage*, 29(2), 578-586.
- Li, S., Gong, D., Jia, S., Zhang, W., & Ma, Y. (2011). Object and spatial visualizers have different object-processing patterns: behavioral and ERP evidence. *Neuroreport*, 22(17), 860-864.
- Mann, V. A., Sasanuma, S., Sakuma, N., & Masaki, S. (1990). Sex differences in cognitive abilities: a cross-cultural perspective. *Neuropsychologia*, 28(10), 1063-1077.
- Mayer, R. E., & Massa, L. J. (2003). Three facets of visual and verbal learners: Cognitive ability,

- cognitive style, and learning preference. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 833-846.
- Messick, S. (1976). Personality consistencies in cognition and creativity. *Individuality in Learning*, 4, 4-23.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, P. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology-General*, 130(4), 621-640.
- Motes, M. A., Malach, R., & Kozhevnikov, M. (2008). Object-processing neural efficiency differentiates object from spatial visualizers. *Neuroreport*, 19(17), 1727-1731.
- Neubauer, A., & Fink, A. (2009). Intelligence and neural efficiency. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(7), 1004-1023.
- Neubauer, A., Fink, A., & Schrausser, D. G. (2002). Intelligence and neural efficiency: The influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Intelligence*, 30(6), 515-536.
- Neubauer, A., Freudenthaler, H. H., & Pfurtscheller, G. (1995). Intelligence and Spatiotemporal Patterns of Event-Related Desynchronization (ERD). *Intelligence*, 20(3), 249-266.
- Neubauer, A., Grabner, R. H., Fink, A., & Neuper, C. (2005). Intelligence and neural efficiency: further evidence of the influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Cognitive Brain Research*, 25(1), 217-225.
- Neubauer, A., Sange, G., & Pfurtscheller, G. (1999). Psychometric intelligence and event-related desynchronization during performance of a letter matching task. *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 6, 219-231.
- O'Connor, D. B., Archer, J., Hair, W. M., & Wu, F. C. (2001). Activational effects of testosterone on cognitive function in men. *Neuropsychologia*, 39(13), 1385-1394.
- Papousek, I., & Schuster, G. (2004). Manipulation of frontal brain asymmetry by cognitive tasks. *Brain Cognition*, 54(1), 43-51.
- Parks, R. W., Loewenstein, D. A., Dodrill, K. L., Barker, W. W., Yoshii, F., Chang, J. Y., et al (1988). Cerebral metabolic effects of a verbal fluency test: a PET scan study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 10(5), 565-575.
- Pavio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. Oxford: Holt: Rinehart & Winston.
- Posner, M. I., & Mitchell, R. F. (1967). Chronometric analysis of classification. *Psychological Review*, 74(5), 392-409.
- Raven, J. C., & Court, J. H. (1998). *Raven's progressive matrices and vocabulary scales*: Oxford Psychologists Press.
- Reichle, E. D., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (2000). The neural bases of strategy and skill in sentence-picture verification. *Cognitive Psychology*, 40(4), 261-295.
- Reuter-Lorenz, P. A., Jonides, J., Smith, E. E.,

- Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., & Koeppel, R. A. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *The Journal of Neuroscience*, 12(1), 174-187.
- Richardson, A. (1977). Verbalizer-visualizer: a cognitive style dimension. *Journal of Mental Imagery*, 1(1), 109-125.
- Rypma, B. (2006). Factors controlling neural activity during delayed-response task performance: testing a memory organization hypothesis of prefrontal function. *Neuroscience*, 139(1), 223-235.
- Rypma, B., Berger, J. S., Genova, H. M., Rebbelchi, D., & D'Esposito, M. (2005). Dissociating age-related changes in cognitive strategy and neural efficiency using event-related fMRI. *Cortex*, 41(4), 582-594.
- Rypma, B., Berger, J. S., Prabhakaran, V., Bly, B. M., Kimberg, D. Y., Biswal, B. B., & D'Esposito, M. (2006). Neural correlates of cognitive efficiency. *Neuroimage*, 33(3), 969-979.
- Shaw, R. M., Helmes, E., & Mitchell, D. (2006). Age-related change in visual, spatial and verbal memory. *Australasian Journal on Ageing*, 25(1), 14-19.
- Silverman, I., Kastuk, D., Choi, J., & Phillips, K. (1999). Testosterone levels and spatial ability in men. *Psychoneuroendocrinology*, 24(8), 813-822.
- Verhaeghen, P., Cerella, J., & Basak, C. (2006). Aging, task complexity, and efficiency modes: the influence of working memory involvement on age differences in response times for verbal and visuospatial tasks. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13(2), 254-280.
- Verhaeghen, P., Cerella, J., Semeneck, S. C., Leo, M. A., Bopp, K. L., & Steitz, D. W. (2002). Cognitive efficiency modes in old age: performance on sequential and coordinative verbal and visuospatial tasks. *Psychology and Aging*, 17(4), 558-570.
- Vitouch, O., Bauer, H., Gittler, G., Leodolter, M., & Leodolter, U. (1997). Cortical activity of good and poor spatial test performers during spatial and verbal processing studied with Slow Potential Topography. *International Journal of Psychophysiology*, 27(3), 183-199.

1 차원고접수 : 2014. 07. 11

수정원고접수 : 2014. 09. 15

최종게재결정 : 2014. 09. 24

A Review of Individual Differences in Neural Efficiency Focused on Cognitive Style and Task-Related Features

Minyoung Hur

Chobok Kim

Department of Psychology, Kyungpook National University

Neural efficiency is a characteristic of the brain tending to process given information with a minimum amount of the neural resources. It has been difficult to integrate the results from the various studies related to neural efficiency since observed patterns of the neural efficiency were different between the studies. These previous studies tried to explain these different patterns based on the variables such as intelligence, gender, age, cognitive style, and so on. The present study reviews the related studies, focusing on the cognitive style and the task-related features. Some of the studies reported that brain regions, showing the neural efficiency, varied depending on the stimulus modalities included in the tasks. Furthermore, the brain regions which were directly engaged in the task-related processes and the other regions showed different activation patterns depending on the task difficulty. We propose the possibility that the individual differences in the patterns of neural efficiency could be explained not only by intelligence, sex, or age, but also by individuals' preferences on the cognitive styles. In conclusion, this review suggests that it is important to consider the stimulus modalities and task difficulty in order to draw consistent results in a relevant studies, and that the individual differences in the neural efficiency could be explained in terms of cognitive style.

Key words : neural efficiency, cognitive style, stimulus modality, task difficulty