

## 발달 신경심리학

### NEUROPSYCHOLOGY IN NEURODEVELOPMENT

신 민 섭<sup>\*†</sup> · 김 현 미<sup>\*\*</sup>

Min-Sup Shin, Ph.D.,<sup>\*†</sup> Hyun-Mi Kim, M.A.<sup>\*\*</sup>

**요 약 :** 본고에서는 인간의 뇌 발달과 주의력, 지각, 기억, 언어 등 다양한 인지기능의 발달과의 관계를 살펴본 후, Luria의 발달 신경심리 이론 및 그에 입각하여 개발된 아동용 Luria-Nebraska 신경심리검사를 간략하게 소개하였다. 마지막으로, 현재 국내, 외에서 널리 사용되는 주의력 검사, 시-지각 검사, 시각-운동 협응 능력 검사, 그리고 전두엽의 집행기능검사 등을 포함한 아동용 신경심리 평가도구에 대해 고찰해보았다.

**중심 단어 :** 뇌 발달 · 발달 신경심리평가.

## 서 론

인간은 생후 1년 동안 뇌의 성장과 성숙 과정을 통해 신체적, 인지적 기능에서 놀랄만한 변화를 겪게 되며, 특히 결정적 시기 동안의 경험으로 인해 그러한 발달은 급속도로 진행되어 생후 2~3년 후 뇌 구조는 거의 발달을 끝나게 된다<sup>1)</sup>. 인간이 경험을 통해 새로운 것에 주의를 기울여 학습하고 기억하는 등의 인지적 능력을 발휘하기 위해서는 신경학적 체계 및 기능의 발달이 뒷받침 되어야 한다. 이처럼 인간이 고등 인지 능력을 습득하고 발휘하기 위해서는 두뇌의 신경학적 발달이 전제되어야 하므로, 이에 대해서 먼저 고찰해보고자 한다.

### 1. 뇌의 성장과 분화

인간의 뇌 발달 과정은 뉴런의 생성(neuron generation), 뉴런의 이동과 분화(neuron migration and differentiation), 뉴런의 성숙(neural maturation), 시냅스의 형성과 선택적 가지치기(synapse formation and pruning)로 이루어진다. 수정 후 2주쯤부터 인간의 신경계는 형성되기 시작하여 신경관이 만들어진다. 수정 후 4주 무렵부터 신경관은 점차 뇌 형태를 갖추기 시작하여 전뇌(forebrain), 중뇌(midrain), 후

뇌(hindrain)로 분화되고 그 나머지 부분은 척수(spinal cord)가 된다. 수정 후 5주쯤 전뇌는 중뇌(telencephalon), 간뇌(diencephalon)로, 중뇌는 중뇌(mesencephalon)로, 후뇌는 후뇌(metencephalon)과 수뇌(myelencephalon)로 분화된다<sup>2)3)</sup>.

뉴런의 증식은 신경관 안쪽에 있는 뇌실의 벽 주변(ventricular zone)에서 뇌 세포가 만들어져 분열하는 것으로 시작되며, 실제 필요한 수보다 많은 뉴런이 만들어진다. 이러한 뉴런의 증식 과정은 보통 임신 6개월 전후로 완료되는 것으로 여겨지며<sup>4)</sup>, 뉴런이 만들어지는 영역 및 시기는 각기 다르다.

뉴런의 생성이 끝난 후 뉴런은 이동을 하며, 이동하는 동안 특정 세포 유형으로 분화되기 시작해 정해진 피질 영역에 도달한다. 뉴런의 일부는 원래 있던 자리에 남아 세포의 분열과 재분열 과정을 계속하며, 나머지 남은 세포들은 원시 뉴런과 교세포가 되어 미리 지정된 피질 영역으로 이동한다. 이러한 뉴런의 이동은 뇌실 주변(vertricular zone)에서 대뇌 피질로 연결되는 섬유를 가진 방사 교세포(radial glial cells)라 하는 세포로 구성된 길(road)을 따라 이루어진다<sup>5)</sup>. 주로 가장 아래쪽 피질을 먼저 구성하고 바깥층으로 순서대로 만들어져 대뇌 피질 가장 윗부분인 1층이 가장 마지막에 형성된다. 뉴런의 이동은 몇 주 동안 계속되고 뉴런

\*서울대학교 의과대학 정신과학교실 Department Psychiatry, Seoul National University College of Medicine, Seoul

\*\*서울대학교 의과대학 서울대학교병원 신경정신과학교실 Department of Neuropsychiatry, Seoul National University College of Medicine, Seoul

†교신저자 : 신민섭, 110-744 서울 종로구 연건동 28 서울대학교 의과대학 정신과학교실

전화 : (02) 2072-2454 · 전송 : (02) 744-7241 · E-mail : sjpark@www.amc.seoul.kr

의 증식이 끝난 후 세포 분화가 시작되어 출생 후에 끝을 맺게 된다<sup>2)</sup>. 뉴런이 방사 교세포의 섬유를 따라 이동하는 동안 축삭과 수상돌기가 발달하기 시작한다. 그러나 수상돌기의 발달은 뇌 세포가 정해진 장소로 이동한 다음에 본격적으로 시작되고 느리게 발달이 진행된다. 태아기 때 시작된 수상돌기의 발달은 성인기까지 지속되며 경험과 같은 환경적 자극에 의해 영향을 받기도 한다. 수상돌기는 수상수지 상부(dendritic arborization 혹은 branching)와 수상돌기 가지(dendritic spines)의 성장으로 발달하게 된다<sup>6)</sup>. 이와 같은 시냅스의 형성은 생득적인 프로그램에 의해서 결정되며 모든 피질 영역의 모든 층에서 거의 동시에 시작되며, 그 진행 속도는 피질 영역의 층에 따라 차이가 있다.

시냅스의 밀도는 태어나기 전부터 생후 2년까지 급속도로 증가하며 이후 점차 감소한다. 시냅스가 발달하면서 수초화가 진행되며, 임신 4개월부터 출생 후 1년 사이 시작되어 2세 경 최고조에 이르고 이후 느린 속도로 지속된다. 생존과 관련된 척수와 연수 등이 가장 먼저 수초화되고, 전두엽과 두정엽의 연합영역, 뇌량에서 가장 늦게 수초화가 일어나 10대 중반 이후까지 계속 된다<sup>2)</sup>. 이처럼 과잉 생성된 뇌 세포는 선택적으로 가지치기를 통해 제거된다. 가지치기는 뉴런, 수상돌기, 축삭, 시냅스 모두에서 일어나며 인간의 내적·외적 환경에 의해 영향을 받는다. 만약 적절한 환경 자극이 제공되지 않으면 시냅스의 선택적인 가지치기가 일어나지 않아 기능상의 문제를 야기할 수 있다<sup>6)</sup>. 특히 시냅스의 가지치기는 초기에 뉴런들간의 무선적인 연결들 중에서 불필요하거나 기능이 없는 뉴런간의 관계를 소멸하는 것으로 신경계가 좀더 정교하게 조율되고 있다는 것을 의미한다. 시냅스의 제거는 사춘기 시기까지 최고를 이루며 이후 중년기 때까지 서서히 느리게 이루어지다가 노년기에 노화로 인해 빠르게 제거 된다<sup>6)</sup>.

시냅스의 가지치기는 피질의 영역에 따라 다른 순서로 나타나게 된다. 예를 들어, 상부전두 영역, 청각 피질에서의 시냅스 밀도는 생후 3개월경에 최고를 이른다 생후 1년 후부터 감소하여 11세경에 성인과 비슷한 수준이 된다. 전전두엽 연합 피질은 생후 15개월쯤 최고에 이른다 5~7세경부터 시냅스가 감소되기 시작하여 16세쯤 성인과 비슷한 수준이 된다. 따라서 전전두엽 피질과 같은 연합 피질보다는 감각 피질에서 시냅스의 형성과 가지치기가 먼저 일어난다<sup>7)</sup>.

Chugani(1998)<sup>8)</sup>의 포도당 대사 연구 결과에 따르면, 포도당(glucose) 대사는 영아기에 빠르게 증가하였다가 10대를 거치면서 감소하게 된다. 신생아의 포도당 대사는 감각과 운동 피질 영역, 해마, 시상, 뇌간, 소뇌충부(cerebella vermis)를 포함하는 피질하 영역에서 가장 높게 나타났다.

생후 2~3개월에 포도당의 사용이 두정엽과 측두엽, 일차 시각피질, 기저핵, 대뇌반구에서 증가하기 시작하며, 생후 6~12개월 사이에 전두엽에서 포도당의 소모량이 증가한다. 피질 전체의 활성화는 생후 8~9개월 후 가능해진다. 포도당의 대사량은 4세까지 전반적으로 증가하며 10세경에 안정적인 상태를 이루다가 16~18세 사이에 성인 수준으로 점차 감소한다. 이처럼 피질 영역의 발달은 시차를 두고 일어나며, 이것은 인간만이 가진 고유한 특징이다.

## 2. 뇌 발달과 인지발달

특정 인지 기능의 발달은 특정 신경 발달 단계와 관련이 있으므로 이들 간의 관계를 통해 신경계 회로, 구조, 체계와 인지적 처리 과정 사이에서 나타나는 상호작용에 대한 설명이 가능하다. 이것은 제반 인지적 현상에 대한 근원(origin)과 인간의 뇌 발달 간의 관계를 알려 주는 것이다. 본고에서는 인간의 고차원적 정신과정인 지각, 주의, 기억 및 언어 능력들과 뇌 발달 간에 어떠한 연관성을 보이는지 살펴보고자 한다.

### 1) 뇌와 시 지각 및 주의력 발달

시각 기능은 피질 영역이 발달하기 전에 피질하 영역에 의해 통제되고 있다. 출생 당시 시각 피질의 시냅스 연결은 성인의 20% 수준이며 중심와 영역(foveal region)의 수용기는 태어날 당시에는 미성숙하며 주변 망막이 덜 발달되어 있다. 그래서 신생아들은 물체의 중심보다 주변부를 더 잘 볼 수 있어 물체를 잘 알아보지 못한다<sup>9)</sup>. 생후 4개월동안 시신경의 수초화(myelinate)가 빠르게 일어나며 생후 2년쯤 성인 수준에 도달한다. 생후 6개월에는 시상의 외측 슬상핵(lateral geniculate nucleus)의 부피가 거의 2배에 이른다<sup>2)</sup>.

생후 1개월 동안의 안구 운동은 물체의 움직임을 따라가지만 부드럽게 쫓아가지 못하고 천천히 따라가는 단속(saccadic) 안구 운동이 보인다. 또한 외부 자극이 나타날 경우 반사적으로 그 자극을 향한 안구운동이 일어나며, 시각적 기민성이 발달하지 못해 복잡한 자극에 대한 내적 특성을 무시하는 경향성이 있다. 특정 물체나 위치를 뚫어지게 쳐다보는 의무적 주시(obligatory looking) 현상도 나타난다. 이는 선조 피질에서 피질하 구조로 투사하는 경로의 발달과 관련되며 상소구에서의 활동을 억제하여 일시적으로 안구운동을 지나치게 억압해 나타난 현상으로 피질이 좀더 발달하는 생후 4개월부터 사라진다. 생후 2개월에 바깥선조 피질(extrastriate cortex)의 중측두 운동영역(middle temporal motion area)에 투사하는 선조 피질과 상소구가 성숙하면서 유연하게 눈길을 돌리는 추적 운동이 가능해지며, 복잡한 자극의 내적 특성에도 주의를 기울이기 시작한다. 하지

만 자극이 움직이는 지점을 예측하는 안구운동은 하지 못한다. 생후 3개월부터 전두 안구 영역(frontal eye field)이 발달하면서 안구운동을 통제하기 시작한다. 배외측 전두 피질(dorsal-lateral frontal cortex)에 있는 전두엽 안구 영역은 자발적인 안구 운동(voluntary eye movement)을 담당하여 물체의 움직임을 예측하는 안구운동이 가능해진다. 폭발적인 시냅스의 형성이 일어나는 생후 4개월부터 시각 인식 능력이 발달하고 양안 시야(binocular vision)도 발달하기 시작한다. 약 6개월경에는 피질의 통제 기능이 많이 발달하여 한 가지 대상을 탐색하다가 다른 물체로 주의를 돌릴 수 있게 되고 5초 정도 반사적인 안구 운동을 억제할 수 있게 된다. 시력은 5세경에 정상 성인 수준 정도로 발달하지만, 그 이외의 시 지각 능력은 생후 1년 내에 성숙이 이루어진다<sup>2)</sup>.

생후 2~6개월 사이에 시각 운동통제에 중요한 역할을 하는 전두엽 안구 영역, 배외측 전전두엽이 빠르게 발달한다. 이 시기에 시각 단서로 주의를 유도할 경우 주의 촉진 효과를 나타내며, 자신의 의지에 따라 시선을 옮기고 주의를 통제할 수 있다. 생후 3~6개월에 두정엽이 발달하면서 물체의 운동을 예측하는 안구운동을 돕게 된다. 생후 6~12개월 사이 배외측 전두 피질과 대상회가 발달하면서 주변 자극의 두드러지는 특징에 영향을 덜 받고 자신의 의도에 따라 시선을 움직일 수 있다<sup>10)</sup>.

**2) 뇌의 기억 기능의 발달**

인간의 기억 체계는 ‘명시적’, ‘서술적’, ‘인지적’으로 정의할 수 있는 기억과 ‘암묵적’, ‘절차적’, ‘습관적’으로 정의할 수 있는 기억의 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 본고에서는 전자를 ‘명시적 기억’(explicit memory)으로, 후자를 ‘암묵적 기억’(implicit memory)으로 분류한다. 의식적인 수준의 기억을 말하는 명시적 기억은 주로 해마를 포함하는 내측두 피질에서, 비의식적이고 암묵적인 기억은 기저핵과 소뇌, 일차 감각 피질이 관여하고 있다<sup>7)</sup>.

임신 10주 이후부터 해마와 주변 피질을 연결하는 내후각 뇌피질(entorhinal cortex) 영역이 분화된다. Nelson<sup>11)</sup>은 생후 2~3개월 영아에게서 명시적 기억의 한 형태인 신기성 재인(novelty recognition)이 나타나는 것을 밝혔다. 이러한 기억 과정에 해마가 결정적인 역할을 한다고 제안하면서, 이를 측두엽 구조는 관여하지 않는 주로 해마 자체에 의존해 이루어지는 명시적 기억의 초보적인 형태로 보아 ‘전-명시적 기억’(pre-explicit memory)이라 했다. 생후 8개월쯤 측두엽이 성숙해지고 측두엽과 해마가 서로 통합을 이루면서 전-명시적 기억은 명시적 기억으로 발달한다.

생후 6개월에서 12개월 사이에 해마를 포함하는 변연계는 성인 정도의 수준에 이른다. 이후 발달 초기의 신기성 선호 반응과는 질적으로 다른 감각간 재인 기억(cross-modal recognition memory)이나 사건 순서(event sequence) 기억과 같은 명시적 기억의 형태가 나타나기 시작한다. 생후 6~8개월에 감각간 재인기억과 이전 정보에 근거하여 어떤 행동 도식(action schema)을 산출하는 것이 가능해진다. 이러한 기억 체계에는 후각속 피질(entorhinal cortex), 하측두엽(inferior temporal cortex)의 발달이 포함된다. 생후 9~12개월에 사건 순서 기억이 발달하며, 이는 해마보다 더 늦게 성숙하는 해마 주변의 편도체와 치상회, 하측두 피질과 관련이 있는 신경 회로에 기초해 발달한다. 생후 1년쯤에 성인과 같은 명시적 기억 형태가 기능적으로 가능해진다<sup>10)</sup>.

전두엽의 하위영역인 배외측 전전두 피질(dorsolateral prefrontal cortex)과 관련 있는 작업기억은 생후 6~12개월 무렵부터 발달하기 시작하지만, 아동기를 거치면서 더욱 발달하게 된다<sup>10)</sup>.

**3) 뇌의 언어 기능의 발달**

언어 기능은 인간만이 가진 고유한 기능으로, 복잡하고 고등 인지기능을 요하는 능력이다. 임신 6개월부터 좌반구의 편평 측두(Wernicke 영역과 인접해 있는 언어 영역)가 우반구보다 커지기 시작해 임신 30주에는 언어 자극에 대해 두 반구가 달리 반응을 한다<sup>7)</sup>. 언어는 지각 능력, 이해 능력, 운동 능력을 필요로 하는 고도로 복잡한 과정으로, 언어 발달에 필요한 지각 및 운동 과정은 측두엽과 전두엽의 발달과 관련이 있다. 최근에는 신경학적 연구 결과를 토대로 인간의 언어 처리를 ‘의미처리 체계’와 ‘문법처리 체계’로 구분한다. 측두엽과 두정엽(후측 부위)이 관여하는 의미처리 체계와 전두엽(전측 부위)이 관여하는 문법처리 체계이다. 전자는 만 4세 경에 발달하며 언어에 담겨진 내용을 다루어 언어 이해와 관련되며 명사와 같은 내용어를 처리한다. 후자는 10대 중반쯤에 발달하며 문장을 구성하는 구문 법칙과 단어 배열 순서 등을 처리하는 문법 구조와 관련된 동사나 전치사와 같은 기능어를 다룬다. 언어의 의미를 처리할 때 Wernicke 영역을 포함한 뇌의 후측 부위가, 문법 구조를 처리할 때는 Broca 영역을 포함한 뇌의 전측 부위가 활성화된다. 언어 이해력의 발달과 뇌의 기능 분화와 관련하여 Neville<sup>12)</sup>이 ERPs(Event-related potentials)로 연구한 결과 생후 13~17개월 영아들은 좌우반구 전체 피질에서 차이가 발견되었으나 생후 20개월 영아는 좌반구의 측두엽과 두정엽 피질에서만 차이를 보였다. 이는 13~17개월과 20개월 사이 언어 기능의 편재화(lateralization)가 나타나는 것을

시사하며 뇌의 전측 영역과 후측 영역간의 기능 분화가 뚜렷해지는 것을 의미한다.

Bates 등<sup>13)</sup>은 생후 16~24개월에 나타나는 폭발적인 어휘 획득은 여러 피질 영역에서의 시냅스 밀도의 가파른 증가와 관련된다고 보았다. 즉, 시냅스의 밀도가 증가하면 정보 처리과정과 저장 능력도 증가해 어휘와 문법 획득이 폭발적으로 일어난다는 것이다. 언어 능력의 발달과 함께 그 기능이 국소화되는 것은 시냅스의 과잉 형성 후 선택적인 소멸을 통해 신경 회로가 정교해지는 것과 관련이 있어 보인다. 초기 시냅스의 과잉 생산으로 중복된 신경회로를 만들었기 때문에 언어 정보를 처리할 때 여러 피질 영역에서 광범위한 활성화가 보인다. 반면 선택적 소멸을 통해 중복된 회로들은 사라지며 이로 인해 언어 기능과 관련된 회로들이 좀더 정교해져, 언어 정보 처리 시 언어 기능을 담당하는 피질 영역에서만 활성화가 나타난다<sup>7)</sup>.

## Luria의 신경심리학

### 1. Luria의 신경심리 이론

#### 1) 기능 체계(Functional system)

Luria의 이론에서 가장 기본적이고 중요한 개념이 ‘기능 체계’로 인간의 모든 정신 기능을 복합적인 기능 체계로서의 뇌 활동의 결과로 보았다. 즉, 뇌의 각 영역은 특정 행동에서 특정한 역할을 하지만 각 영역은 다른 영역들과 함께 작용하여 특정 행동을 나타내므로, 인간의 어떠한 수의적인 행동에 유일하게 관계된 단일한 뇌의 영역은 없다고 할 수 있다. 따라서 특정한 행동에 관련된 기능 체계의 어떠한 부분이 손상되었을 때 특정 행동이 손상되는 결과를 초래하며, 그 기능 체계가 개입되는 행동들은 모두 장애를 받게 된다<sup>14)</sup>.

‘대안적 기능체계’ (alternative functional system)란 어떤 행동이 하나 이상의 기능체계에 의해 산출될 수 있음을 시사하는 것으로, 이 개념은 특정 부위에 뇌손상을 받은 환자가 이후에 보일 것으로 예상되는 결함을 보이지 않거나, 영구적인 뇌손상 후에 자발적인 회복을 보이는 많은 사례를 설명할 수 있다. 각각의 뇌 영역은 여러 가지 기능 체계에 관여하는데, 이렇게 뇌의 각 영역이 여러 가지 기능적 역할을 하는 것을 Lusia는 ‘중다가능성’ (pluripotentiality)이라 불렀다. 따라서 외현적인 행동들이 유사하다 할지라도 우리는 그 행동들은 나타내게 한 기저의 기능 체계까지 반드시 같다고 가정할 수는 없다.

#### 2) 기능 체계의 구조

Luria<sup>15)</sup>는 뇌의 영역을 3개의 기본 단위로 구분하였다. 단

위 I은 “각성과 주의 과정”에 관여하며, 단위 II는 “감각 지각과 통합”, 그리고 단위 III은 “운동 수행과 체계 및 평가”에 관여한다.

#### (1) 단위 I (Unit I)

단위 I은 ‘망상 활성화 체계’라고 알려진 부분들로 구성되어 있으며, 뇌교와 연수로부터 시상을 거쳐 신피질까지 걸쳐 있다. 이 부분은 수면과 주의집중에서 중요한 역할을 한다.

#### (2) 단위 II (Unit II)

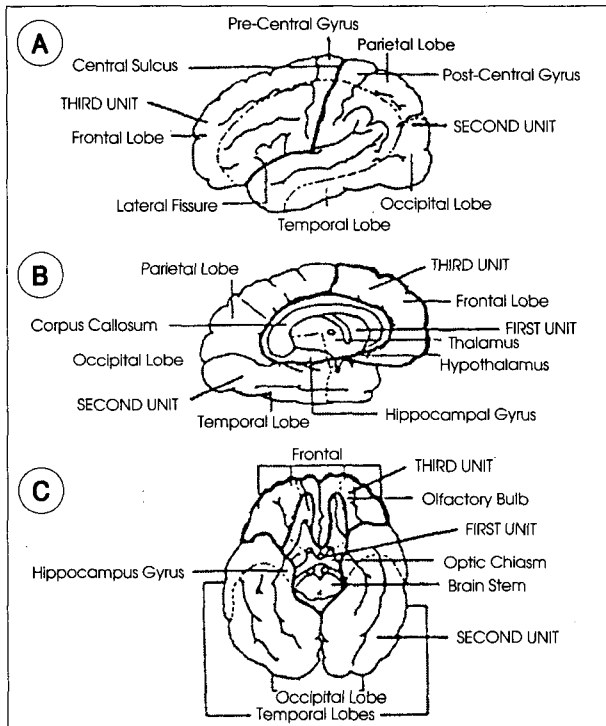
단위 II는 인생 초기의 학습에서 중요한 역할을 하는데, 1차, 2차 그리고 3차 영역으로 구성되어 있다. 1차 영역은 감각 기관으로부터 자극이 수용되는 감각 수용 영역으로, 청각 영역(측두엽), 시각 영역(후두엽), 촉각, 혹은 운동 지각 영역(두정엽)의 3가지 하부 영역으로 이루어져 있다.

2차 영역은 1차 영역의 3가지 하부구조 각각에 상응하는 영역으로 이루어져 있으며, 1차 영역에서 수용된 정보들의 분석과 통합을 담당한다. 2차 영역은 정보를 계기적으로 처리하므로, 이 부분의 손상은 계기적 분석에 영향을 미친다. 단위 II의 2차 영역에서 좌, 우반구의 기능상에 차이가 나타나는 바, 좌반구는 언어적이거나 과잉 학습된 자료의 분석에서 우세한 역할을 하는 반면, 우반구는 비언어적이거나 음악적 기술, 그리고 공간적 관계의 분석에서 우세한 역할을 한다.

3차 영역은 양반구의 두정엽에 위치하고 있으며, 지능 검사로 평가되는 모든 능력에서 주된 역할을 하고, 자극에 대한 동시적 분석을 담당한다. 이 영역에서 좌, 우 반구간의 기능적 차이가 더욱 증가되어, 좌반구는 읽기, 쓰기와 수학적 기호의 이해, 그리고 문법과 같은 언어와 관련된 능력을 담당하는 반면, 우반구는 시-공간적 관계, 공간적 성격을 갖는 수학적 조작, 얼굴 표정이나 모호한 그림의 지각에 관여한다.

#### (3) 단위 III (Unit III)

단위 III의 1차 영역은 운동 수행 영역으로, 이 영역은 특정 근육에 명령을 보내서 특정한 운동을 수행하도록 하며, 2차 영역은 운동의 시간적인 패턴의 계기적 순서를 조직화한다. 3차 영역은 전전두엽이라 불리워지는 것으로 포유 동물의 뇌 발달의 최고 수준을 나타낸다. 이 영역의 주된 기능은 의사 결정과 평가, 충동 조절과 정서적 통제, 주의집중 그리고 창조성이다. 전전두엽이 발달됨에 따라 단위 I의 망상 활성화 체계에 대해 우세한 기능을 하게 되어, 전전두엽이 직접 주의집중을 하도록 지시하고 각성 수준에 대한 의식적 조절이 가능해진다(Fig. 1).



**Fig. 1.** Functional systems of the brain. This figures presents the threes units of the brain as seen from three different views. A represents a lateral views of the brain. B represents the medial view of the brain. C is a basilar view of the brain. The first unit if located in the subcortical structures of the brain, which underlie the cerebral hemispheres. The second functional unit consists of the temporal, parietal, and occipital lobes : the third functional unit consists of the frontal lobes. Major brain landmarks are named for the reader's reference.

**3) 기능 체계의 발달 단계**

**(1) 1 단계(Stage 1)**

단위 1은 출생 직후부터 발달하여 수정 후 12개월이 지나면 충분히 기능하게 된다. 망상 활성 체계는 그것이 발달 되는 시기 동안에 받은 손상에 매우 민감하여, 조산아는 각성과 주의력에 장애를 보일 수 있다.

**(2) 2 단계(Stage 2)**

1단계와 같은 시기에 발달하여 생후 12개월이 되면 충분히 작용할 수 있게 되는데, 2단계에서는 기본적인 감각-운동 능력을 담당하는 단위 II와 III의 1차 영역이 발달한다.

**(3) 3 단계(Stage 3)**

앞의 두 단계와 함께 발달이 일어나지만, 5세까지 발달이 진행된다. 단위 II와 III의 2차 영역이 발달하면, 2세 경에 처음으로 언어 중추와 비언어 중추의 분화가 일어난다.

**(4) 4 단계(Stage 4)**

모든 학습 능력과 관련된 단위 II의 3차 영역(두정엽)이

발달하는데, 5세 이후 발달하여 8세경이 되어야 충분히 활성화될 수 있다. 따라서 어린 시절의 두정엽 손상의 효과는 8세 이후에나 관찰할 수 있다.

**(5) 5 단계(Stage 5)**

단위 III의 3차 영역(전전두엽)은 10~12세 이후에 발달하기 시작하여 20대 초반까지 계속 발달이 진행된다. 충동 억제, 주의산만한 행동의 억제, 미래에 대해 계획하고 조직화하는 능력, 그리고 자신의 행동을 평가하는 능력 등이 발달된다.

**2. 아동용 Luria-Nebraska 신경심리 검사 배터리**

아동용 Luria-Nebraska 신경심리 검사 배터리(LNNB-C)는 8세와 12세 연령 범위의 아동들에게 개별적으로 실시하는 검사로서, Luria의 신경심리 이론에 입각하여 Nebraska 대학의 Golden이 개발한 다차원적 검사배터리이다. 총 149 문항으로 이루어져 있으며, LNNB-C에 포함된 개별적인 과제 수는 모두 497개이다. 각 문항에 대한 아동들의 반응은 연령별로 다른 기준에 입각하여 0점(정상), 1점(뇌손상의 미약한 증거), 그리고 2점(뇌손상의 강한 증거)으로 채점되며, 이렇게 채점된 각 문항의 점수들은 척도별로 합산되어 최종적으로 각 척도별 T-점수(평균 50, 표준 편차 10)로 환산된다.

LNNB-C는 질적 점수와 양적 점수를 모두 산출하는데, 둘 다 신경학적인 기능을 평가하는데 매우 중요하다. 양적인 척도들은 11개의 임상 척도와 3개의 요약 척도, 그리고 11개의 요인 척도로 분류될 수 있다. 각 척도들의 특성과 측정하는 내용은 다음과 같다.

**1) 임상 척도**

**(1) 운동 기능 척도(C1 : 34문항)**

LNNB-C에서 가장 복잡한 척도로, 양반구의 광범위한 운동 기능을 평가한다. 속도를 요하는 단순한 손의 운동, 눈을 가린 채 수행하는 단순한 운동, 언어 지시에 따라 수행하는 단순하거나 복잡한 운동 등과 같은 과제가 포함된다.

**(2) 리듬 척도(C2 : 8문항)**

대부분의 과제들이 녹음기를 통해 제시되는데, 제시된 두 음의 높이가 같은지, 다른지, 혹은 제시된 2~3개의 음정이나 노래를 따라서 부르거나 언어적 지시에 따라 리듬 자극의 패턴을 만드는 것과 같은 음의 높낮이나 장단과 관련된 과제들이 포함된다. 리듬 척도는 주의 및 집중력 장애에 매우 민감한 척도이다.

**(3) 촉각기능 척도(C3 : 16문항)**

단순한 촉각 기능, 복잡한 촉각 기능, 그리고 운동 감각 기

능을 평가하는 척도로, 모든 문항을 눈을 가린 상태에서 실시하는데, 신체의 좌, 우측에 번갈아 자극을 제시한다.

(4) 시각 기능 척도(C4 : 7문항)

시 지각 및 공간 지각 능력을 평가하는 척도로서, 제시된 물건들이 무엇인지 알아맞히거나 겹쳐서 그려진 물건들을 파악하는 것, 제시된 글자나 숫자의 같은 점과 다른 점을 말하는 것, 옆으로나 거꾸로 제시된 도형과 동일한 도형을 찾아 내는 것과 같은 과제가 포함된다.

(5) 수용 언어 척도(C5 : 18문항)

단순한 음소로부터 복잡한 문장까지 청각적으로 제시된 언어적 과제들을 이해하는 능력을 평가한다. 또한 질적인 분석을 통해 아동의 주의력을 평가할 수 있다.

(6) 표현 언어 척도(C6 : 21문항)

이 척도의 목적은 아동이 말한 언어적 표현이 얼마나 적절하고 유의미한가 보다는 유창성과 조음 능력을 평가하기 위한 것이다. 검사자가 말한 단어나 문장을 그대로 따라서 말하는 능력, 어떤 그림이 그려진 카드를 제시한 후 그 그림에서 무슨 일이 일어나고 있는 지를 말하는 과제들이 포함된다.

(7) 쓰기 척도(C7 : 7문항)

철자법과 필기 능력을 평가하기 위한 척도로, 낱말을 그것을 구성하는 음소로 분석하거나 검사자가 불러준 단어를 받아쓰는 문항들로 이루어져 있다.

(8) 읽기 척도(C8 : 7문항)

음소나 단어, 구 그리고 긴 문장을 읽는 능력을 평가한다.

(9) 산수 척도(C9 : 9문항)

산수 척도는 LNNB-C척도들 중에서 뇌 기능 장애와 교육적 결함을 알아내는데 가장 민감한 척도이다. 청각적으로나 시각적으로 제시된 숫자를 쓰거나 읽고, 크고 작은 수를 비교하고, 간단한 가감승제와 관련된 수리력을 평가한다.

(10) 기억 척도(C10 : 8문항)

단어나 시각적 자극에 대한 단기 기억, 간접 자극이 있는 조건하에서의 언어적 기억, 연합 기억 등 광범위한 기억 과정을 평가한다.

(11) 지적 과정 척도(C11 : 14문항)

기능적인 지적 수준에 대한 정보를 제공해주는 척도로, 대부분의 문항이 Wechsler 지능검사의 이해, 차례 맞추기, 산수, 어휘, 공통성 문제와 유사하므로, 아동용 Wechsler 지능검사의 전체 검사 IQ와 가장 상관이 높은 척도이다.

2) 요약 척도

(1) 병리 척도(S1 : Pathognomonic scale, 13문항)

병리 척도는 원래 뇌손상 아동과 정상 아동을 최대한 변별하기 위한 목적으로 만들어진 척도로, 뇌손상 아동들은 실패율이 높은 반면, 정상 아동이나 정신과 집단의 아동들은 거의 실패하지 않는 문항들로 구성되어 있다. 또한 뇌손상에 일어나는 회복의 정도를 평가하는 데도 매우 유용하며, 병리 척도는 그것이 상승된 정도와 다른 척도점수와의 관계에서 해석된다.

(2) 좌반구 척도(S2 : Left sensorimotor, 9문항)

좌반구 척도와 우반구 척도는 국제화를 평가하기 위해 제작된 척도로, 운동기능 척도(C1)와 촉각기능 척도(C4) 문항들의 일부로 구성되어 있다. 좌반구의 감각 및 운동 기능을 평가하며, 좌반구 손상 시에는 두 척도가 모두 상승하나 좌반구 척도(S2)가 더 높이 상승하는 경향이 있다. S2와 S3 점수의 심한 차이는 국제화된 뇌손상을 시사한다.

(3) 우반구 척도(S3 : Right sensorimotor, 9문항)

운동기능 척도(C1)와 촉각기능 척도(C4) 문항들 중에서 우반구의 감각 및 운동 기능을 평가하는 문항들로 이루어져 있으며, 우반구의 손상이 S3 점수가 상승한다.

3) 요인 척도

요인 척도는 요인분석 방법을 통해 경험적으로 관련되어 있는 문항들을 추출한 것이므로, 요인 척도들의 명칭은 특정한 신경학적 구성 개념을 나타내기 보다는 “참고를 위한 명명화”로 해석되어야 한다.

(1) 학업 성취 척도(F1 : Academic achievement, 17문항)

기본적인 학습 능력을 평가하는 척도로, 임상 척도 중에서 읽기(C8), 쓰기(C7), 산수(C9), 표현 언어(C6) 척도 문항들의 일부로 이루어져 있으며, 학습 장애를 진단하는데 유용하다.

(2) 통합 기능 척도(F2 : Integrative function, 6문항)

양반구를 포함하는 통합 기능 체계를 평가한다.

(3) 공간지각에 근거한 운동 척도(F3 : Spatial-based movement, 6문항)

운동기능 척도(C1)의 문항들로 구성되어 있으며, 언어적 지시나 운동감각적 정보에 근거해서 수행하는 공간적 운동을 평가한다.

(4) 운동속도와 정확성 척도(F4 : Motor speed & accuracy, 6문항)

시간제한이 있는 상황에서 손의 반복적인 운동을 평가하

는 운동기능 척도(C1)의 일부 문항들로 이루어져 있다.

- (5) 묘사 능력 척도(F5 : Drawing quality, 6문항)  
기하학적인 도형을 그리도록 하는 과제로, 시-공간적 분석과 섬세한 시각-운동 협응 능력을 평가한다.
- (6) 묘사 속도 척도(F6 : Drawing speed, 6문항)  
기하학적인 도형을 그리는데 걸리는 시간을 평가한다.
- (7) 리듬 지각과 산출 척도(F7 : Rhythm perception & production, 4문항)  
청각적인 리듬이나 음의 높낮이를 지각하고 재산출하는 능력과 주의집중력을 평가한다.
- (8) 촉-감각 척도(F8 : Tactile sensation, 8문항)  
여러 가지 촉각 기능을 평가한다.
- (9) 수용 언어 척도(F9 : Receptive language, 5문항)  
언어적으로 제시한 음소를 받아쓰거나, 반복해서 말하거나, 글자나 단어를 변별하는 능력을 평가한다.
- (10) 표현 언어 척도(F10 : Expressive language, 8문항)  
음소나 단어나 구를 반복해서 말하고, 글자를 읽는 능력을 평가한다.
- (11) 단어와 구 반복 척도(F11 : Word & Phrase Repetition, 4문항)  
지적 과정 척도(C11)의 일부 문항들로 구성되어 있으며, 언어적 추상 능력을 평가한다.

## 신경심리 평가

### 1. 주의력 평가

주의력은 개체의 내부, 혹은 외부로부터의 자극을 받아들일 수 있도록 준비된 상태에서 개체가 처한 상황에서 적절한 자극을 선택하게 하는 일련의 정보처리 과정을 의미한다. 즉, 자극에 관심을 기울이는 것과 특정 대상에 기울이는 의식적인 관심과 노력 정도, 주의를 계속 유지하는 것 등으로 그 의미가 다양하다<sup>16)</sup>. 보통 주의력은 각성도, 무시, 초점 주의력, 분할 주의력, 지속적 주의력, 주의력 조절 능력 등으로 구분된다. 이처럼 이론적으로 주의력을 다양하게 분류하고 있지만, 한 가지 주의력 요소로 분리해서 측정하는 것은 불가능하여 대부분의 주의력 검사들은 여러 영역의 주의력을 동시에 평가하게 된다<sup>17)</sup>. 전두엽, 측두엽, 두정엽, 후두엽, 시상, 기저핵(basal ganglia)을 포함하는 뇌 영역이 주의력을 관장하며, 이 영역들은 신경 망, 혹은 기능적인 체

로 서로 관련되어 있다.

ADHD 아동들은 지금까지 행해진 연구들에서 일관된 결론이 시사되지는 않았으나, 각성의 정도(degree of arousal)를 조절하는 데 어려움과 전두엽의 억제능력에 결함이 있는 것으로 나타났다. ADHD 아동은 외적 자극에 쉽게 흥분하다가도 외적 자극이 사라지면 차분해지거나 졸리운 듯해지는 모습을 나타내는 경우가 있다<sup>17)</sup>. 주의와 간섭에 대한 억제력을 평가하는 전두엽기능 검사인 스트룹 검사 Stroop test)에서 ADHD 아동과 정상 아동을 비교했을 때 억제력은 낮고, 간섭 오류는 유의미하게 높은 것으로 나타났다(Fig. 2)<sup>18)</sup>. ADHD 아동들을 대상으로 연속수행 검사(CPT)를 실시한 결과, 오정보오류와 누락오류, 정반응 시간의 표준편차가 유의미하게 크며, 민감도는 낮고 반응기준은 높은 것으로 나타나, 주의를 지속하는데 어려움이 있으며, 무관한 자극에 의해 쉽게 주의산만해지는 것으로 나타났다<sup>19)</sup>.

### 1) 각 성(Alertness)

각성은 주의력의 기본적인 생물학적 단계로서, 정보를 처리하기 위해서는 각성을 준비하고 유지하는 능력이 필요하다. 각성은 망상 활성화체계(reticular activating system)에 의해 조절되며<sup>16)</sup>, 각성의 변화는 긴장성(tonic) 변화와 위상성(phasic) 변화로 나눌 수 있다. 긴장성 변화는 유기체의 생리적 변화에 의해 수의적으로 일어나며 망상활성체계(reticular activation system)의 뇌간 중심부 및 좌반구와 관련이 있다. 일상 생활에서 외부로부터 여러 가지 의미있는 신호를 받게 되면 각성은 증가되며, 민감해지는 등의 위상성 변화가 나타나는데, 위상성 변화는 우반구에서 주로 담당한다<sup>17)</sup>.

파랑	노랑	빨강	검정
검정	검정	파랑	노랑
노랑	빨강	파랑	검정
검정	파랑	노랑	빨강
노랑	빨강	검정	파랑
검정	파랑	빨강	노랑

Fig. 2. 스트룹 검사(Stroop test).

2) 무 시(Neglect)

무시(Neglect)는 주의력의 공간적 분배(spatial distribution)의 장애로, 좌반구보다는 우반구 손상 시에 편측 무시(hemi-neglect)가 더 자주 나타난다. 외부 공간으로 향하는 주의력을 조절하는 통합 조직망은 뇌의 네 부위에서 담당하는 것으로 알려져 있다. 후부 두정엽은 내적인 감각지도(sensory map)를 제공하고, 대상회전(cingulate gyrus)은 동기의 공간적 분배를 조절하며, 전두엽은 탐구, 조사, 도달, 정착 등에 사용되는 프로그램을 조정한다. 망상활성체계는 기본적인 각성도와 경계력을 일정수준으로 유지한다<sup>20)</sup>.

이러한 무시 현상은 백지에 무작위로 배열되어 있는 글자나 숫자를 지우는 Letter Cancellation Task나 Digit Cancellation Task로 파악할 수 있다<sup>17)</sup>. 이 검사들은 무작위로 섞여 있는 비표적 자극들과 표적 자극들로 구성되어 있으며, 표적자극들만 지우는 것을 통해 평가한다.

3) 초점 주의력(Focused attention)

초점 주의력(focused attention)은 동시에 제시되는 여러 개의 자극 중 특정 자극, 또는 자극의 특정 측면에만 의식적으로 주의를 기울이고 나머지는 무시하는 능력으로, 선택적 주의력이라고도 한다. 초점주의력과 밀접하게 연관되어 있는 개념이 주의산만성(distractability)으로, 불필요한 외부 자극에 대한 반사적인 반응, 즉 주의를 분산되는 것을 억제시키는 능력이 요구되는데, 여기서 전두엽의 기능이 매우 중요하다<sup>17)</sup>. 초점주의력은 이분 청취 과제(Dichotic Listening Task), 스트룹 색상-단어 검사, 선로잇기 검사-A, B형에 의해서 평가될 수 있다. 스트룹 색상-단어 검사(Stroop Color-Word Test)는 자극판에 인쇄되어 있는 색깔 글자들 중 단어의 의미는 무시하고 글자의 색상에 초점을 맞추어 무슨 색인지 말하도록 요구하는 검사이다. 선로 잇기 검사는 검사지에 무작위적으로 배치되어 있는 25개의 원안의 숫자를 순서대로 가능한 빨리 연결하는 것(A형)과 “1-가-2-나-3-다”처럼 숫자와 문자를 교대로 순서대로 연결하는 검사(B형)로 이루어져 있다. 주로 A형은 초점 주의력, B형은 분할주의력과 관련된다(Fig. 3).

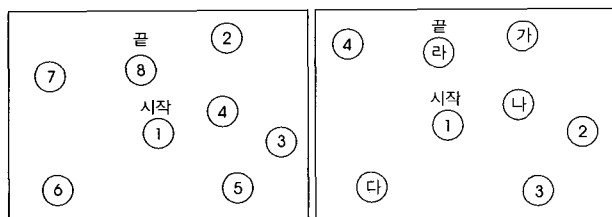


Fig. 3. 선로 잇기 검사(Trail-Making test ; 왼쪽 A형, 오른쪽 B형).

4) 분할주의력(Divided attention)

분할주의력(divided attention)은 두 가지 이상의 과제를 동시에 시행할 때 주의력을 분배 하는 능력을 말하는 것으로, 정보처리 용량과 조절 전략에 의해 결정된다. 조절 전략은 자동처리(automatic processing)와 조절 처리(controlled processing)로 나누어진다. 자동 처리과정은 의식적으로 조절할 수 없으며 용량이 제한되어 있지 않고 빠르게 병렬(parallel) 방식으로 진행되며, 조절 처리과정은 느리고 순차적이며 노력을 요하는 과정이다<sup>17)</sup>. 분할주의력은 비엔나 검사 중 ‘Reaction Time’, ‘Determination Unit’ 등과 같은 전산화된 평가도구, Wechsler 지능 검사 중 기호쓰기, 이분청취 과제(Dichotic Listening Task), 스트룹 색상-단어 검사, 선로잇기 검사-A, B형, Paced Auditory Serial Addition Task(PASAT)등의 평가도구로 측정할 수 있다. PASAT는 1부터 9까지 숫자를 무작위로 제시하면서 아동에게 덧셈을 시키는 데, 제시된 숫자와 바로 전에 제시된 숫자를 더해야하며, 다음 자극이 주어지기 전에 대답을 해야 정답으로 간주되는 것으로 분할주의력을 평가하는데 유용하다.

5) 지속적 주의력(Sustained attention)

지속적 주의력(sustained attention)은 특정 자극에 대해 얼마나 주의를 유지할 수 있는지와 관련된 것이다. 지속적인 주의를 의미하는 경계력(vigilance)은 주의를 오랜 시간에 걸쳐 유지하는 능력을 말하며 작은 변화를 찾아내어 반응할 수 있는 주의상태를 말한다. 지속적 주의력은 시간에 따라 수행 능력이 변하는 과제 수행에 미치는 시간의 효과, 반응을 빠뜨리거나 놓치는 주의력 착오(lapses of attention), 각성상태에서 과제를 수행할 때 그 수행 정도가 어느 정도의 변동이 있는지를 살피는 개체내 변동(intra-individual variability)으로 평가한다<sup>17)</sup>.

각성도나 주의집중력을 객관적으로 측정하는 가장 대표적인 방법은 연속 수행 검사(Continuous Performance Test : CPT)인데, 여기서는 특정한 기호, 숫자, 문자를 짧은 시간 동안 컴퓨터 화면에 제시하거나 들려준 후, 아동에게 미리 지정된 표적 자극이 나올 때마다 빠르게 반응을 하도록 지시한다. 정반응 수, 표적 자극에 반응하지 않는 누락 오류(omission error), 비표적 자극에 잘못 반응한 오경보 오류(commission error) 등이 측정되는데, 정반응 수와 누락 오류는 지속적 주의력을, 오경보 오류는 주의집중력과 인지적 충동성, 반응억제 능력 등을 나타내준다. 주의력 장애 진단 시스템(ADHD Diagnosis System)<sup>21)</sup>은 국내에서 개발된 표준화된 CPT검사으로써, 국내 아동 및 청소년을 대상으로 5세에서 15세까지의 연령별 규준이 확립되어있다(Fig. 4). 시



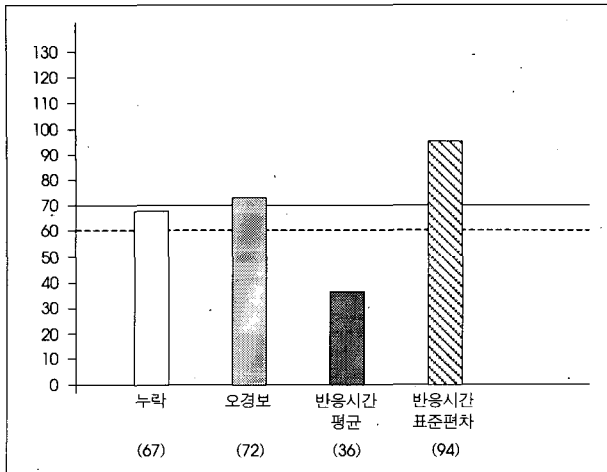


Fig. 4. 주의력 장애 진단 시스템 (ADHD diagnosis system). T 점수가 70점 이상이면 정상범위에서 유의미하게 ( $2\sigma$ ) 벗어난 것으로 간주됨. T 점수가 60점 이상이면 정상범위에서 약간 ( $1\sigma$ ) 벗어난 것으로 간주됨.

각, 청각 두 종류의 CPT를 사용시 주의력 문제를 정확하게 진단할 수 있으므로, ADS는 시각, 청각 두 가지 검사로 구성되어 있다. ADS의 시각 검사에서는 3가지 모양의 그림이 사용되었는데, 하나는 표적 자극(target)이고 나머지는 비표적자극(non-target)이다. 표적자극은 정사각형 안에 세모가 그려진 것이고, 비표적 자극은 정사각형 안에 원이나 네모가 그려진 것이다. ADS의 청각 검사에서도 역시 3가지의 청각자극을 사용하는데, 하나는 표적 자극(뿔-뿔-뿔)이고 나머지는 비표적 자극(뿔-뿔, 뿔-뿔-뿔-뿔)이다. ADS에서 사용된 자극들은 학습 및 언어의 영향, 문화적 영향을 최소화하기 위해 비언어적인 자극으로 제작되었다.

6) 주의력 감독 조절(Supervisory attentional control)

주의력 감독 조절(supervisory attentional control)은 불필요한 자극에 대한 반응을 억제하고 언제 주의를 자극 상황의 다른 측면으로 옮겨야 할 지, 반응 순서가 어떻게 되어야 할지를 결정하는 능력으로, 전두엽의 실행기능과 관련이 깊다. 주의력 감독조절은 위스콘신 카드 분류검사, Sequential Hand Movements, Go-NoGo test로 평가할 수 있다<sup>17)</sup>. 예를 들어, Go-NoGo 검사는 검사자가 손가락을 1개 보이면 아동은 2개를 보이고, 검사자가 손가락을 2개를 보이면 가만히 있도록 지시한 후, 자극을 무작위로 제시하는 것으로 주의력 감독 조절 능력을 평가한다.

2. 인지 기능 평가

보통 인지 기능은 다양한 능력들로 구성되어 있는데, 주로 개인 지능 검사를 통해서 인지기능을 평가하는 경우가 많다.

지능은 여러 가지 원인들에 의해서 결정될 뿐만 아니라 여러 가지 측면을 지니고 있는데, 전반적인 유능성이나 총체적 잠재력(overall competency or global capacity)으로 정의할 수 있다. 다양한 인지 능력들이 연령에 적절하게 발달되었는지를 알아보기 위해 인지 기능 평가하게 되는데, 연령에 적절한 인지 기능이 발달된 사람은 다양한 방식으로 상황이나 문제들을 이해하고 현실적으로 부딪치는 문제에 효과적으로 대처할 수 있는 능력을 가진 사람이다<sup>22)23)</sup>.

한국판 웨슬러 아동용 지능검사(KEDI-WISC)가 국내에서 5~15세 아동, 청소년들의 인지기능을 평가하는데 가장 널리 사용되고 있다. KEDI-WISC는 상식, 공통성, 산수, 어휘, 이해, 숫자의 6개 언어성 소검사와 빠진곳 찾기, 차례맞추기, 모양맞추기, 기호쓰기, 미로의 6개 동작성 소검사로 구성되어, 이를 통해 전체 지능, 언어성 지능, 동작성 지능을 산출할 수 있다<sup>22)</sup>. Kaufman Assessment Battery for Children(K-ABC)는 2세 6개월~12세 5개월 아동용 개별 지능검사로, 총 16개의 하위 검사로 구성되어 있다. 이 검사들은 크게 아동의 인지 처리 능력(10개의 소검사)과 습득도(6개의 소검사)를 평가한다. 인지처리 능력은 다시 순차처리 능력과 동시처리 능력으로 나누어지는데, 순차처리를 측정하는 소검사에는 손동작, 수회상, 단어 배열이 있다. 동시 처리 능력을 측정하는 소검사에는 마법의 창, 얼굴기억, 그림통합, 삼각형, 시각 유추, 위치 기억, 사진 순서 등이 포함된다. 표현 어휘, 인물과 장소, 산수, 수수께끼, 문자 해독, 문장 이해는 습득도를 평가하는 소검사들이다. 아동에게 실시될 소검사 종류는 아동의 생활 연령에 근거하여 결정된다. 즉, 16개의 소검사를 한 아동에게 모두 실시하는 것이 아니라 생활 연령에 따라 7개에서 13개의 소검사를 실시한다<sup>23)</sup>.

3. 시 지각 능력 평가

시 지각이란 시각적 자극을 선행 경험과 관련하여 인식하고, 변별하며, 해석하는 과정으로 학습 능력의 기초가 된다. 물체에 대한 정확한 구성(construction)을 위해서는 효과적인 시공간 능력 및 시각-운동 협응 능력이 필요하다. 시 지각 능력은 복잡한 자극에 대한 변별 능력으로 시각 재인, 색채 재인, 전경-배경 구분, 시각적 통합력을 말한다. 시공간 능력은 공간에서의 위치를 지각하는 것으로, 지형학적 방향, 시각장의 무시(neglect of part of a person's visual field), 방향과 거리 구분 능력과 관련 된다<sup>24)</sup>.

Rey-Osterrieth Complex Figure Test (ROCF)는 Rey<sup>25)</sup>에 의해 개발되고, Osterrieth<sup>26)</sup>가 개정한 검사로, 시 지각적 구성능력, 계획 및 조직화 능력, 비언어적 기억 능력과 같은 다양한 인지 기능을 평가한다. 검사는 모사(copy), 즉시

회상(immediate recall), 그리고 지연 회상(delayed recall) 단계로 실시하는데, 복잡한 ROCF 도형을 제시하고 그대로 그리도록 지시한 후, 도형을 치우고 다시 기억해서 그려보도록 지시한다. 지연 회상은 즉시 회상을 실시하고 15~20분 후에 실시한다. 아동들의 수행은 Bernstein과 Waber<sup>27)</sup>가 개발한 발달적 채점체계(Developmental Scoring System)에 입각하여 아동의 수행이 연령에 적절한지, 정상 발달에서 어느 정도 이탈되어 있는지를 평가한다(Fig. 5).

Benton Visual Retention Test(BVRT)는 시각 기억, 시지각, 시각 구성 능력을 평가하는 검사로, 3가지 변형된 형태를 가지며, 각 형태는 10개의 도형으로 구성된다. 처음 2개의 도형은 커다란 기하학적인 도형(geometric figure)으로 구성되고, 나머지 8개 도형은 2개의 큰 도형과 주변에 더 작은 도형 한 개로 구성되어 있다<sup>23)</sup>.

BGT는 성인의 경우에 시각-운동 협응 능력을 평가하기 위한 목적으로 주로 사용되고, 아동의 경우에는 뇌기능 장애나 시각-운동 협응에 대한 평가, 그리고 지각적 성숙뿐만 아니라, 아동의 학업 성취에 대한 예측이나 대략적인 지능 추정을 위한 목적으로도 널리 이용되고 있다(Fig. 6). 10세 이하의 아동들은 BGT 도형을 그리는데 여러 가지 발달적 오류를 보일 수 있으므로, 이런 오류가 정상 범위에 해당되

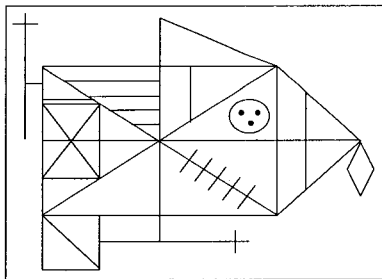


Fig. 5. Rey-osterrieth complex figure test (ROCF).

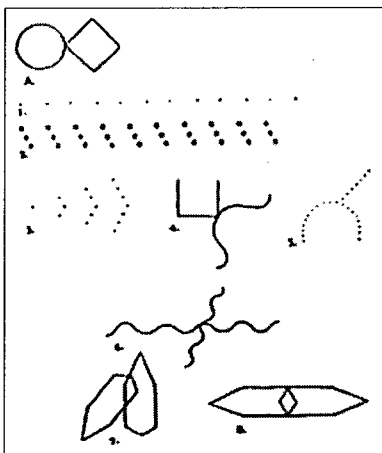


Fig. 6. Bender-gestalt test (BGT).

는지, 아니면 뇌기능 장애의 가능성을 시사하는 결과인지를 정확히 판단하기 위해서는 정상 아동들이 보이는 발달적 오류에 대한 연령 기준에 입각해서 해석해야한다. 6세 이하의 아동들은 시-지각 및 시각-운동 협응능력의 발달이 아직 미숙하여 많은 오류를 보일 수 있으나, 대부분의 정상 아동들은 9세경이 되면 어떠한 오류 없이 BGT 도형을 그리는 것이 가능해지며, 약 10세경에는 성인과 유사한 수준의 시각-운동 협응 능력을 보인다. 따라서 정상 지능을 가진 10세 이상의 아동이 BGT 수행시 오류를 보일 때는 뇌기능 장애의 가능성을 의심해 볼 수 있다. 김민경과 신민섭<sup>28)</sup>의 연구에서 산출된 우리나라 정상 아동의 연령별 평균 BGT 오류점수는 다음과 같다 : 5세 6.7(SD=3.2), 6세 2.0(SD=1.3), 7세 1.9(SD=1.4), 8세 1.1(SD=1.5), 9세 0.7(1.0), 10세 0.2(SD=0.6).

Hooper Visual Organization Test(VOT)는 무작위적으로 배열된 그림 조각들을 개념적으로 재배열하는 능력을 측정하는 것으로 시각적-조직화 능력과 밀접하게 관련되어 있다. 30장의 카드로 구성되어 있는데, 각 카드에는 일상적인 물체(예, 물고기, 책상 등)들이 여러 조각으로 나뉘어져 순서에 맞지 않게 배열된 그림들이 제시되어 있는데, 이를 보고 그 사물의 이름을 말하거나 쓰도록 하는 검사이다<sup>23)</sup>.

Corsi Block-tapping Test는 시공간 주의폭과 즉각적인 시공간적 순차 능력을 측정하는 검사로, 바로 따라 두드리기와 거꾸로 따라 두드리기 2가지로 구성되어 있다. 단순 시각적 형태를 빠르게 지각하고 조작하는 능력, 공간상에서 물체의 방향(orientation)을 유지하는 능력이 요구된다(Fig. 7)<sup>24)</sup>.

Developmental Test of Visual-Motor Integration(VMI)는 Beery와 Bukteinica가 학령전기와 학령기 아동의 시-지각과 운동-협응 능력을 평가하기 위해 개발한 신경심리 검사이다. BGT와 유사한 기능을 평가하나, BGT는 5세이하

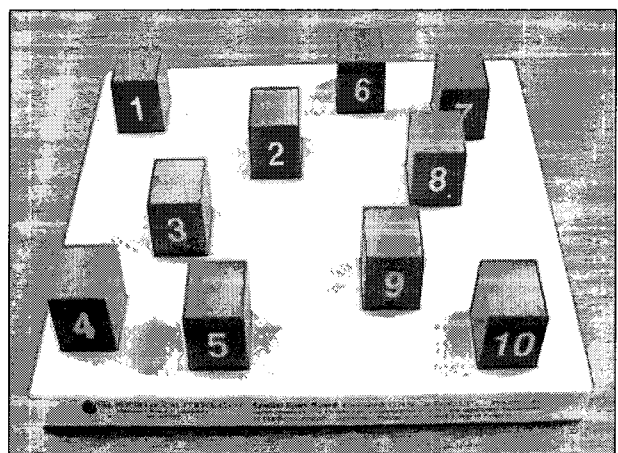


Fig. 7. Corsi block-tapping test.

의 기준이 없는 반면, VMI는 2세 아동의 기준부터 확립되어 있어 연필을 쥘 수만 있다면 아주 어린 아동에게도 실시할 수 있다<sup>29)</sup>.

**4. 실행 기능의 평가**

주로 전전두엽이 담당하고 있는 실행기능은 고위인지 처리 과정으로 다차원적인 요인들로 구성되어 있으며, 인지, 정서, 행동 기능을 조절하고 방향을 안내해 주는 능력들을 담당하는 집합체로 정의할 수 있다<sup>24)</sup>. 실행기능에는 행동의 개시 (initiation), 계획능력, 가정을 세우는 능력, 인지적 융통성, 의사결정 능력, 판단력, 피드백을 사용하는 능력, 상황과 맥락에 적절하게 자신의 행동과 정서를 조절하는 자기-조절 능력이 포함된다. 이러한 실행기능은 외부 자극의 종합, 목표와 전략의 형성, 행동의 준비, 계획과 행동이 적절하게 실행되었는지 확인하는데 중요한 능력이다. 이처럼 다양한 실행기능의 영역들을 Lesak<sup>24)</sup>는 의지(volition), 계획(planning), 목적 활동(purposive action), 효과적인 수행(effective performance)의 4가지 영역으로 개념화하였다. 또한 여러 가지 복잡한 정보를 가용한 상태로 활성화시켜 유지하고 동시에 처리하는 작업기억, 목표에 맞게 자신의 행동을 조절하고 감독하는 능력(self-regulation)과 오류를 확인하고 수정하는 능력(self-correction)도 실행기능의 중요한 측면이라 할 수 있다.

실행기능은 전전두엽의 손상과도 관련이 있지만 피질하, 변연계와 같은 뇌의 다른 영역의 손상에도 상당히 민감하다. Cummings<sup>30)</sup>는 실행기능을 담당하는 영역으로 전두-피질하 회로(frontal-subcortical circuits)와 같은 복잡한 모형으로 설명을 하고 있다. 신경학적으로 전두엽은 손상이 없지만 회로를 형성하는 신경학적 구조의 활동이 변하거나 회로에 장애가 생기면 실행기능이 손상을 입어 전두엽 증후군(frontal lobe syndrome)을 나타낸다고 한다. 예를 들어 배외측 전전두엽(dorsolateral prefrontal cortex)이 손상되면 구체적인 사고(concrete thinking), 정신적 통제의 어려움, 복잡한 운동 활동의 결함, 반응 세트를 유지하지 못하는 등의 결함을 나타낸다. 마찬가지로 배외측 전전두엽과 밀접하게 상호작용하는 측두엽, 두정엽, 후두엽 연합 영역, 배측 꼬리핵(dorsal caudate nucleus)에 장애가 있어도 배외측 전전두엽 손상 환자와 같은 행동을 보인다.

실행기능의 결함을 보이는 대표적인 아동기 장애로 ADHD를 들 수 있는데, ADHD 아동들로 충동적이고 성급한 반응, 인지적 융통성의 결여, 자신의 행동에 대한 통제 및 조절하지 못하는 행동 문제를 나타낸다<sup>17)</sup>. 이러한 ADHD의 실행기능 결함과 관련해서 다양한 신경심리 도구들을 사용하여

국내, 외에서 많은 연구들이 이루어져왔다. 전략 수립 능력과 관련된 언어 및 범주 유창성 검사에서 ADHD 아동이 정상 아동에 비해 유의미하게 낮은 점수를 보였으며, 적절한 주의배분과 인지 세트의 변경 능력을 평가하는 선로잇기 검사-B형에서도 정상 아동에 비해 반응시간이 길었다<sup>31)</sup>. 작업기억을 평가하는 Self-Ordered Pointing Test(SOPT)에서도 ADHD 아동의 수행이 정상 아동 집단에 비해 저조하였다(Fig. 8)<sup>32)</sup>. 추상적 개념형성과 인지적 융통성을 측정하는 위스콘신 카드분류 검사에서 ADHD 아동과 정상 아동이 완성 범주 수와 보속오류에서는 유의미한 차이를 나타내지 않았지만 유지실패율을 높게 보였다<sup>17)</sup>. 시공간적 조직력과 계획력과 관련 있는 Rey Complex Figure Test(ROCF) 결과, ADHD 아동 집단이 정상 집단이나 틱장애 아동 집단에 비해 모사 단계에서의 조직화 점수가 유의미하게 낮았다<sup>33)</sup>. 아동의 실행기능 결함을 평가하기 위한 다양한 신경심리 평가도구가 개발되어 있으며, 현재 보편적으로 가장 많이 사용되고 있는 실행기능 평가도구는 다음과 같다.

위스콘신 카드 분류 검사(Wisconsin Card Sorting Test)는 실행기능을 평가하는 대표적인 신경심리검사로 배외측 전전두엽 영역과 관련이 있다. WCST는 추상적인 개념을 형성하고 범주화하는 능력, 문제를 해결하거나 추리하는 능력, 계획력과 조직화 능력, 인지적 융통성을 측정하는 검사이다(Fig. 9). 전산화된 WCST에서는 스크린을 통해 일련의 카드를 제시한 후 '맞다/틀리다'의 피드백을 주어 아동이 과제에서 요구하는 범주 규칙을 찾아내도록 요구한다. WCST에서는 오류를 가능한 한 적게 하고, 더 적은 시행착오 과정을 통해 범주의 규칙을 파악하는 것이 중요하다<sup>24)</sup>.



Fig. 8. Self-ordered pointing task (SOP).

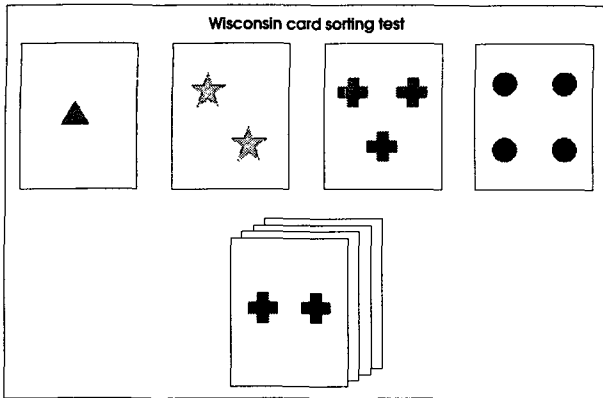


Fig. 9. 위스콘신 카드 분류 검사(Wisconsin card sorting test).

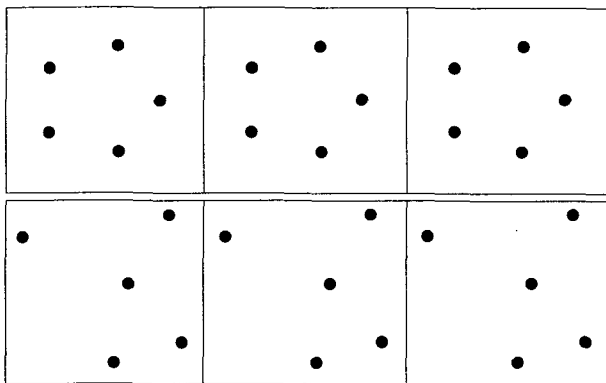


Fig. 10. 도안 유창성 검사.

단어 유창성 검사의 한국판은 언어 유창성 검사와 범주 유창성 검사로 구분된다. 언어 유창성과 특정 범주 내 단어를 나열하는 전략수립능력을 보는 것으로 이는 전전두엽 기능과 관련되는 것이다. 언어유창성은 ‘ㄱ, ㅅ, ㅇ’ 검사로 1분 동안 아동이 말할 수 있는 최대한의 단어를 말하도록 하는 것이고 범주 유창성 검사는 동물 이름 말하기 검사이다. 이 두 검사 모두 동일한 단어를 반복하는 보속오류와 다른 범주의 단어를 말하는 침입오류(intrusion error)로 평가된다<sup>34)</sup>.

도안 유창성 검사는 우측 전두엽의 기능을 측정하기 위한 도구로, 비언어적인 유창성을 평가할 수 있다. 1분 동안 5개의 점을 연결하여 새로운 도안을 많이 그리는 과제로 인지적 유연성과 창의적 접근이 강조된다는 점에서 실행 기능이 요구되는 시공간적인 전략수립 검사이다(Fig. 10)<sup>34)</sup>.

Stroop 검사는 자극의 단일 차원으로 이루어진 단순 시행과 자극의 두 가지 차원으로 이루어진 간접 시행으로 구성되며 anterior frontal cortex와 orbitofrontal cortex와 관련된다. 여기서는 현저한 특징을 나타내는 한 차원은 무시하고 다른 한 차원에 주의를 집중하는 것이 요구되는 것으로 주의 자원의 통제와 억제에 매우 중요하므로, 실행 기능이 중요한 역할을 한다<sup>24)</sup>.

KEDI-WISC 숫자와우기(Digit Span)의 거꾸로 따라와우기 소검사는 머리속에서 숫자를 유지하면서 정신적 조작을 하도 능력을 평가하는 것으로 작업 기억을 측정한다<sup>22)</sup>. KEDI-WISC의 산수 소검사는 정보를 능동적으로 보유하면서 정신적인 조작을 하는 효율성을 측정하는 것으로 작업 기억을 평가한다. 웨슬러 기억검사(WMS-III)의 Letter-Number Sequencing은 무작위로 불러준 문자와 숫자를 숫자는 숫자 순서대로 문자는 문자 순서대로 다시 배열하는 검사로, 순서대로 재배열할 수 있을 정도로 문자와 숫자를 지속적으로 유지하고 정확하게 기억하고 조작하는 작업기억이 필요하다. Corsi Block-tapping Test는 시공간적 위치를 기억하고 반복하는 능력으로 시공간적 작업기억을 평가하는 도구이다<sup>35)</sup>. KEDI-WISC의 미로(Maze) 소검사도 시간과 관련된 자기-조절, 계획능력을 측정하는 것으로 반응을 미리 계획하고 의사 결정하는 능력이 요구된다<sup>24)</sup>.

## 맺는 말

추상적 행동과 같은 기능뿐만 아니라 계획, 조직화, 전략 수립, 자기-조절 등 최고의 인지적 기능인 실행 능력을 관장하는 전두엽과 관련하여 성인을 대상으로 한 연구가 주로 이루어져왔고, 아동에 관한 연구는 아직 초보적인 단계이다. 많은 연구들에서 ADHD, 학습장애, 전반적 발달장애(PDD) 뚜렛 장애 등 아동기에 흔히 나타나는 대표적인 신경발달학적 장애(neurodevelopmental disorders)가 전두엽의 역기능(frontal lobe dysfunction)과 관련 되어 있다는 결과들을 보고하고 있지만, 아직 우리나라에서는 아동들의 신경심리검사 기준자체가 정립되어 있지 않아 정확한 임상진단과 연구가 이루어지기 어려운 실정이다. 다양한 아동기 정신병리의 원인 규명 및 치료를 위해 앞으로 전두엽 기능과 관련된 특정 인지기능에 민감한 체계적이고 포괄적인 신경심리 검사를 개발하고 표준화 연구를 수행하여, 아동기 정신장애에 대한 정확한 진단과 치료가 이루어지도록 기반을 마련하는 노력이 이루어져야 할 것이다.

## References

- 1) Yakovlev PI, Lecours AR. The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain. In A. Minkowske (Ed.), Regional Development of the Brain. Oxford: Blackwell;1967.
- 2) Gazzaniga MS, Ivry RB, Mangun GR. Cognitive Neuroscience. Norton:2002.
- 3) 김문수, 문양호, 박소현, 박순권, 박정현. 생물심리학. 시그마프레스, 서울:2000.

- 4) Sidman RL, Rakic P. Neuronal migration, with special reference to developing human brain: A review. *Brain Research* 1973; 62:1-35.
- 5) Rakic P. Intrinsic and extrinsic determinants of neocortical parcellation: a radial unit model. In Rakic P, Singer W (Eds.). *Neurobiology of Neocortex*. John Wiley & Sons;1988. pp.5-27.
- 6) Bryan K, Lan QW. *Fundamental of Human Neuropsychology*. Worth Publishers;2003.
- 7) 성현란, 이현진, 김혜리, 박영신, 박선미, 유연옥 등. *인지발달*. 학지사, 서울;2001.
- 8) Chugani HT. A critical period of brain development: studies of cerebral glucose utilization with PET. *Prev. Med* 1998;27: 184-188.
- 9) Abramov I, Gordon F, Hendrickson A, Hainline L, Dobson V, Labossiere E. The retina of the newborn human infant. *Science* 1982;217:265-267.
- 10) Johnson MH. *Developmental Cognitive Neuroscience*. Cambridge, MA: Blackwell Science;1997.
- 11) Nelson CA. The ontogeny of human memory: A cognitive neuroscience perspective. *Developmental Psychology* 1995;31: 723-738.
- 12) Neville HJ. Developmental specificity in neurocognitive development in humans. In M.S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neuroscience*. Cambridge, MA: The MIT Press;1995. pp.219-231.
- 13) Bates E, Thal D, Janowsky JS. Early language development and its neural correlates. In I Rapin & S. Segalowitz (Eds.), *Handbook of Neuropsychology*. Amsterdam: Elsevier 1992;7: 69-110.
- 14) Golden CJ. *The Luria-Nerbraska Neuropsychological Battery: Children's Revision: Manual*. Western Psychological Services, Los Angeles;1987.
- 15) Luria AR. *Higher cortical functions in man*, 2nd ed. Basic Books, New York;1980.
- 16) Groth-Marmat G. *Neuropsychological Assessment In Clinical Practice*. John Wiley & Sons;2000.
- 17) 조수철, 권석우, 김봉년, 김석주, 김재원, 김진영 등. *주의력 결핍 과잉운동장애*. 서울대학교 출판부, 서울;2001.
- 18) Grodzinsky G. *Assessing frontal lobe functioning in 6 to 11 year old boys with attention deficit hyperactivity disorder*. Boston College, Unpublished Dissertation;1990.
- 19) 신민섭, 박수현. *주의력결핍/과잉운동장애 아동의 신경심리학적 평가*. 소아청소년정신의학 1997;8(2):217-231.
- 20) 홍경수. *주의력의 평가*. 한국 신경인지기능연구회(역), 신경심리평가. 하나, 서울;1995.
- 21) 홍강의, 신민섭, 조성준. *주의력 장애진단시스템 사용설명서*. 한국정보공학(주);1999.
- 22) 박경숙, 윤점룡, 박효정, 박혜정, 권기욱. *KEDI-WISC의 검사요강*. 한국교육개발원;1992.
- 23) Spreen O, Strauss E. *A Compendium of Neuropsychological Test*. Oxford University Press;1998.
- 24) Lezak MD, Howieson DB, Loring DW. *Neuropsychological Assessment*. Oxford;2004.
- 25) Rey A. L'examen psychologique dans le cas d'encephalopathie traumatique. *Arch Psychol* 1941;28:286-340.
- 26) Osterrieth PA. Le teste de copie d'une figure complexe [The complex figure copy test]. *Arch Psychol* 1944;30:206-256.
- 27) Bernstein JH, Waber DP. *Developmental Scoring System for the Rey-Osterreith Complex Figure Manual*. Lutz, FL, PAR;1994.
- 28) 김민경, 신민섭. 벤더-게스탈트 검사에 대한 한국 아동의 발달적 기준 및 임상적 유용성에 대한 예비 연구. *한국심리학회지: 임상* 1995;14(1):149-160.
- 29) 특수 교육. *시-지각 발달 검사*, 서울;1982.
- 30) Cummings JL. Anatomic and behavioral aspects of frontal-subcortical circuits. In J. Grafman, K. J. Holyoak, & F. Boller (Eds.), *Structure and function of the human prefrontal cortex*. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1995;769:1-13.
- 31) 정선주. 전산화 신경인지기능 검사를 이용한 주의력결핍/과잉운동장애 아동의 주의력결핍 특성에 관한 연구. *서울대학교 의과대학 석사학위논문*;1997.
- 32) Wiers RW, Gunning WB, Sergeant JA. Is a mild deficit in executive functions in boys related to childhood ADHD or to parental multigenerational alcoholism? *Journal of Abnormal Child Psychology* 1998;26:415-430.
- 33) Shin MS, Kim YH, Cho SC, Kim BN. Neuropsychologic Characteristics of Children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD), Learning Disorder, and Tic Disorder on the Rey-Osterreith Complex Figure. *Journal of Child Neurology* 2003; 18(12):835-844.
- 34) 김홍근. *Kims 전두엽-관리기능 신경심리검사: 해설서*. 도서출판 신경심리;2001.
- 35) Lichtenberger EO, Kaufman AS, Lai ZC. *Essentials of WMS-III Assessment*. Willey & Sons;2002.

## **NEUROPSYCHOLOGY IN NEURODEVELOPMENT**

**Min-Sup Shin, Ph.D., Hyun-Mi Kim, M.A**

*Department Psychiatry, Seoul National University College of Medicine, Seoul*

First, the author reviewed the relationship between human brain development and cognitive functions such as attention, perception, memory, and language. And then Luria's neurodevelopmental theory and its application on the Neuropsychological test battery for children were reviewed. Finally, various assessment tools to evaluate attention, intellectual function, visual-perception, visual-motor coordination, and executive function were examined.

**KEY WORDS** : Brain development · Neuropsychology · Neuropsychological assessment.