

집중의 신경해부와 정신생리

The Neuroanatomy and Psychophysiology of Attention

이성훈*†, 박윤조*

Sung Hoon Lee, M.D.*†, Yunjo Park, B.A.*

Abstract

Attentional processes facilitate cognitive and behavioral performance in several ways.

Attention serves to reduce the amount of information to receive. Attention enables humans to direct themselves to appropriate aspects of external environmental events and internal operations. Attention facilitates the selection of salient information and the allocation of cognitive processing appropriate to that information. Attention is not a unitary process that can be localized to a single neuroanatomical region. Before the cortical registration of sensory information, activation of important subcortical structures occurs, which is called as an orienting response. Once sensory information reaches the sensory cortex, a large number of perceptual processes occur, which provide various levels of perceptual resolution of the critical features of the stimuli. After this preattentive processing, information is integrated within higher cortical(heteromodal) systems in inferior parietal and temporal lobes. At this stage, the processing characteristics can be modified, and the biases of the system have a direct impact on attentional selection. Information flow has been traced through sensory analysis to a processing stage that enables the new information to be focused and modified in relation to preexisting biases. The limbic and paralimbic system play significant roles in modulating attentional response. It is labeled with affective salience and is integrated according to ongoing pressures from the motivational drive system of the hypothalamus. The salience of information greatly influences the allocation of attention. The frontal lobe operate response selection system with a reciprocal interaction with both the attention system of the parietal lobe and the limbic system. In this attentional process, the search with the spatial field is organized and a sequence of attentional responses is generated.

Affective, motivational and appetitive impulses from limbic system and hypothalamus trigger response intention, preparation, planning, initiation and control of frontal lobe on this process. The reticular system, which produces ascending activation, catalyzes the overall system and increases attentional capacity. Also additional energetic pressures are created by the hypothalamus. As psychophysiological measurement, skin conductance, pupil diameter, muscle tension, heart rate, alpha wave of EEG can be used. Event related potentials also provide physiological evidence of attention during information process. N1 component appears to be an electrophysiological index of selective attention. P3 response is developed during the attention related to stimulus discrimination, evaluation and response. (Sleep Medicine and Psychophysiology 5(2):119-133 1998)

Key words: Attention, Neuroanatomy, Psychophysiology, Information Processing, Neuropsychology.

*연정 뇌기능 수면 연구소

*Yonjung Brain Function and Sleep Research Center, Seoul

†교신저자:서울시 강남구 역삼동 786-19, TEL:569-2916 FAX:564-0602

서론

우리는 집중이란 말을 일상 생활에서부터 아주 광범위하게 그리고 쉽게 사용해 오고 있으나, 집중이란 기능이 무엇인지에 대해 쉽게 설명하기는 어렵다. 물론 집중이란 의식과 내적 상태를 어떠한 것에 모으는 것이라고 쉽게 설명할 수는 있지만, 아주 다양한 형태적, 인지적 상태를 지칭하고 포함하기에 집중을 일률적이고, 단순하게 정의하고 설명하기가 쉽지 않다. 이 글은 집중의 신경 심리학적 정의나 내용을 설명하기 위한 글은 아니나 그 신경 해부학과 정신 생리학에 바로 접근하기 위해서는 최소한의 신경 심리학적 이해가 필요하다. 그러나 집중 기능에 대한 정확한 정보보다는 과연 이 기능이 왜 필요하고 뇌에서 무엇을 하는 것인가를 전체적으로 통찰하는 것이 더 중요하다.

뇌는 정보처리를 위한 기관이다. 유용하고 필요한 정보를 신속하고 정확하게 처리해야 한다. 이러한 정보 처리를 위해서는 먼저 필요한 정보들을 모으고, 그 정보들을 적절히 처리해서 유용한 정보를 빨리 얻어야 한다. 그런데 주위에는 수많은 정보들이 있다. 뇌의 밖에도, 뇌의 안에도, 신체 내부에도 수많은 정보들이 있는데 과연 어떤 정보들을 선택해서 어떻게 처리하여 지금 나에게 필요한 정보를 얻을 것인가를 결정하고 처리하는 과정은 그렇게 쉽지 않다. 이를 산만하게 아무렇게나, 무질서하게, 계획성 없이 실행했다가는 그 생물체는 치열한 정보 전쟁과 생존 경쟁에서 결코 살아남을 수 없다. 그래서 정말로 유용한 정보를 신속하고 적절하게 얻기 위해서는 무엇에나 우선권을 주고 처리해야 하는지를 선택하고 결정하는 것이 무척 중요하다. 내가 선택하고 처리할 수 있는 능력의 한계가 있는데 이를 어디에나 분배하고 공급해야 할지 그 원칙이 있어야 할 것이다. 집중은 바로 자신이 가진 정보 처리 능력을 선택적으로 필요한 곳에 공급할 때 발생하는 인지적 현상이다. 먼저 필요한 정보를 선택할 때 집중은 필요하며 그 정보가 정말 어떻게 유용하게 사용될 지를 점검하고 처리하는 과정에 집중은 필요하다. 그리고 그 결과가 원래의 의도대로 잘 진행되고 얻어지고 있는지를 추적 검토하고 수정 및 추진해가는 과정에도 집중은 중요한 역할을 한다. 그러므로 정보 처리 과정에 집중 기능이 없이는 그 처리가 조직화되고, 어떤 방향으로 인도 될 수 없다. 집중은 결국 정보처리를 어떤 목적을 향해 이끌어 가는 실제적인 힘인 것이다. 집중이 없이는 정보 처리는 그저 자동적이

고, 통계적이고, 우연 발생적인 차원에 머물 수밖에 없고 정보처리의 어떤 방향성과 의도성이 개입될 수 없는 것이다. 그렇다고 집중은 의식의 자아가 주체가 되어 어떤 목적을 향해 정보처리를 일방적으로 끌고가는 그런 완력만은 아니다. 관련된 모든 정보를 모두 상관시켜서 가장 적절한 정보를 얻어 가도록 돕고 조절하는 조력자, 중재자와 같은 역할을 한다. 그렇다면 이러한 기능은 뇌의 어느 부위에서 발생될까? 아직 이질문에 대해 정확한 답을 얻기는 어려우나 가능한 해답을 찾아보도록 노력하는 것이 바로 이 글의 내용이 될 것이다.

집중과 관련된 뇌의 신경 해부학적 구조를 크게 두 종류로 나누어 볼 수 있다. 하나는 집중 기능만을 비교적 특이하게 담당하는 국재화(localized)된 구조가 있고 또 하나는 어떤 한 부분이 아닌 뇌 전체가 참여하는 신경망(neural network)으로서의 구조이다. 먼저의 경우 외계의 정보를 적절한 안구 운동을 통해 집중할 수 있게 하는 frontal field와 자극의 공간적 위치에 대한 반응을 조절케하는 집중 기능을 담당하는 inferior parietal lobe가 이에 해당한다. 그리고 attention의 원천적인 energy를 공급하는 reticular activating system과 thalamus의 intralaminar nuclei 가 이에 해당한다. 물론 이 구조물들이 다른 기능을 담당하지 않는 것은 아니지만 비교적 이 집중과 관계된 기능만을 주로 담당하는 것이 특징이라 할 수 있다. 그러나 대부분의 구조물은 여러 신경계가 동시에 동원되는 신경망 형태로 집중 기능을 일으킨다. 집중 기능을 하는 신경계가 따로 있는 것이 아니라 하부 기능을 조절하는 상부 기능에 집중 기능이 포함되어 있다. 조절 기능이 가능하기 위해서는 집중 기능이 반드시 필요하기 때문에 조절 기능 속에 이 집중 기능이 포함되는 것이다. 조절이란 여러 신경계가 동시에 동원되는 신경망으로만 가능하며 그래서 대부분의 집중 기능은 신경망적 기능을 갖게 되는 것이다. 그래서 집중 기능은 특이한 기능으로 확정된 신경계보다는 기능이 덜 분화되고 가변성(plasticity)이 커서 조절 가능성이 더욱 많은 신경계에 더욱 현저하게 나타난다. 그리고 집중 기능도 계통성을 갖는데, 그 조절 기능이 더욱 세분화 될수록 더욱 고도하고 세밀한 집중 기능을 갖는다. 그러므로 그기능의 계통적 조직에 따라 같은 집중 기능이라도 각기 서로 다른 면을 갖는다. 뇌의 신경 해부학적 구조는 기능적으로 조직되어 있으며 계통적인 관계를 가지고 있다. 집중의 신경 해부학 역시 기능 및 계통적 조직의 이해를 통해서 접근하는 것이 바람직하다. 이

를 위해서는 먼저 정보처리 과정을 이해하고 이 흐름 속에서 신경 심리학적인 집중 기능을 이해할 필요가 있다. 그리고 이 기능의 조직과 계통성을 바탕으로 신경 해부를 설명하려고 한다. 이와 함께 집중 기능의 신경적(neural)기전과 정신 생리에 대해서도 고찰해 보려고 한다.

본 론

1. 집중의 신경 심리학적 모형

이 글은 집중의 신경 심리학에 대한 글은 아니지만 그 신경 해부학을 기능적으로 이해하기 위해서는 그 기초가 되는 집중의 신경 심리학적 모형을 먼저 간략하게 설명하는 것이 필요하다.

사실 집중 기능은 여러 학파나 학자들에 따라 이해하는 방식이 조금씩 다르기 때문에 어떤 모형을 따라야 하는지를 선택하는 것은 쉽지 않다. Heilman 등 (1)은 attention을 sensory attention과 motor intention으로 나누어 설명하였으며, Mesulam(2)은 attentional matrix와 vector attention으로 나누었다. 또 Luria(3)는 orienting response와 volitional attention으로 집중 기능을 분리하여 설명하였으며, Pribram과 McGuinness(4)는 arousal, activation과 effort로 구분하여 설명한 바 있다. Posner(5)는 집중을 spatial selection과 intensive attention으로 나누어 조절된다고 했으며, Mirsky(6)은 집중을 focusing, executing, sustaining, encoding, shifting의 기능으로 좀 더 세분화하여 분류하였다. 그러나 이 글에서는 가장 최근의 모형이면서도 포괄적인 분류를 한 바 있는 Cohen(7)의 모형을 중심으로 설명하려고 한다. 표1과 그림 1에서 나타난 대로, 집중의 과정을 일반 정보처리의 과정과 같이 sensory input의 과정과 central process 그리고 response 과정으로 보면서 전 과정에서 모두 집중 기능이 일어나는 것으로 설명할 수 있다. Sensory input에서는 sensory selective attention이 있고, response에는 response selection과 control을 하는 집중 기능이 있다고 했다. 그리고 central process를 포함한 정보 처리의 전 과정에 집중 기능의 지속성과 그 능력이 영향을 미치는데 Cohen(7)은 이를 attentional capacity와 sustained attention으로 나누어 설명하였다. 각각의 기능에 포함된 요소들은 표 1에 더욱 자세히 나타나 있

며, 이에 대한 자세한 내용은 정보처리 과정 및 신경 해부와 함께 설명할 것이다.

2. 집중의 신경 해부학

집중 기능과 관계된 신경 해부학은 사실 뇌의 대부분의 구조물이 포함된다. 서론에서 밝힌 대로 집중 기능은 별도의 특이한 기능이라기 보다는 전체의 정보처리 과정에서 기억 기능(8)과 함께 없어서는 안될 중요한 기능이기에 뇌기능이 일어나는 전 뇌구조물이 포함될 수밖에 없다. 그러나 각 구조물은 집중 기능에 있어 다소 다른 특징적인 기능을 보이고 있어 각 구조물이 집중 기능과 어떻게 연관되는지를 설명하려고 한다. 그리고 다음 장에서 이러한 구조물이 정보 처리 과정에서 어떻게 상호 작용하여 집중 기능을 일으키는 지를 설명할 것이다.

1) Parietal and temporal lobe

두정엽과 측두엽은 감각 정보가 연합되는데 가장 중요한 역할을 한다. 먼저 두정엽 중 heteromodal associate cortex(주로 inferior와 posterior area)는 입력된 감각 정보를 공간적으로 인식하게 한다. 두정엽은 공간적 정보를 신속하게 얻기 위해 전두엽의 eye movement field와 함께 안구 운동을 적절하게 수행하도록 하는데 이때 attention 기능이 같이 가동 된다. 그

Table 1. Neuropsychological Taxonomy of Attention

Attentional factors	Components
Sensory selective attention	Filtering Selection Focusing Automatic shifting
Response selection and control	Intention Initiation Inhibition Active switching Executive control
Attentional capacity	
Energetic factors	Arousal Motivation Effort
Structural factors	Memory capacity Processing speed Temporal dynamics Spatial constraints Global resources
Sustained performance	Vigilance Fatiguability Reinforcement contingency

집중의 신경해부와 정신생리

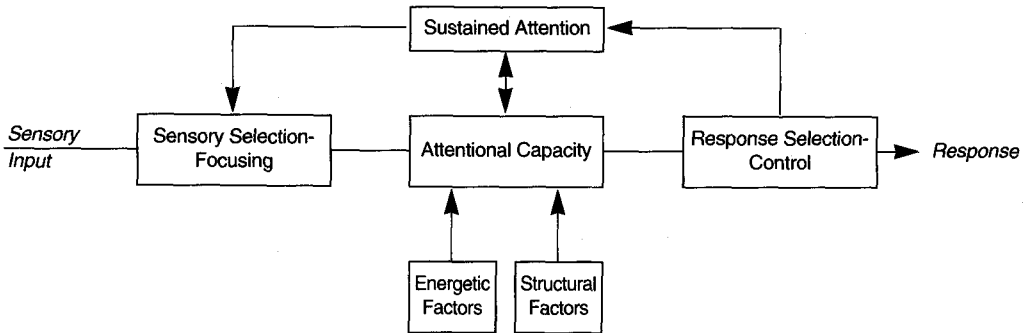


Fig. 1. Primary factors underlying attention

러므로 이 부위에 손상을 입게 되면, 반대편의 공간적 인식의 장애와 함께 한쪽 편에 집중하지 못하는 hemi-inattention과 neglect syndrome이 발생하게 된다(9). 특히 우측 두정엽 손상시 더 심하게 나타나며 이 부위의 뇌졸중(10)이나 수술적 제거(11)후에 이 현상이 나타남이 많이 보고 된 바 있다. 그리고 두정엽과 측두엽(주로 하부)은 여러 감각 정보를 공간적으로 종합함과 동시에 구조적 정보를 형성하여 distributed associative network 형태를 이루고 있는 과거의 여러 정보(기억)와 비교하여 새 정보를 형성하고 기억시키는데 중요한 역할을 한다(8). 그리고 내측두엽과 parahippocampus, hippocampus, paralimbic structure 등과 연합하여 이 기능을 수행한다. 이런 과정에서 현재 입력된 정보가 과거 정보와의 비교에서 그 중요성이 결정되며, 선택적 집중을 통해 선택되어지는 것이다. 이 선택적 집중과 이 선택이 가능하도록 감각 정보를 더욱 선명하게 filter하고 focusing하고 enhance 하며 또 특징을 분석하고 종합하는 역할도 한다. 특히 세부적인 특징에 attention 하는데는 측두엽이 관여된다. 이 모든 기능이 attention에 아주 중요하다.

그러므로 이 부위는 sensory attention에 가장 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.

2) Thalamus

시상(thalamus)은 여러 피질하와 피질과 reciprocal한 관계를 갖는다. 외계 정보 및 피질하의 여러 정보는 시상을 거쳐서 피질로 가고 피질의 여러 정보는 시상을 거쳐 피질하로 간다. 그래서 시상이 신경 정보의 문지기(gate keeper)와 같은 역할을 한다. 망상체(reticular formation)와 함께 작용하여(intralaminar

nuclei of thalamus) 전반적인 각성 상태(arousal)와 집중 과정에 아주 중요한 역할을 한다. 특히 망상체의 활성 상태가 피질에 적절하게 영향을 주도록 조절하는 문지기 역할을 한다. 두정엽 손상에서처럼 시상의 한쪽의 손상에서도 hemispatial neglect(12)가 나타난다. 이는 공간 집중을 조절하는 피질 부위와 그 하부에 있는 집중을 촉매하는 arousal system과의 연결에 손상을 받음으로 발생하는 것으로 설명한다. 또한 시상은 다른 피질하 구조와 상호 밀접한 관계를 갖는데 이 관계 역시 집중에 중요한 역할을 한다. 시상은 여러 관련된 정보를 감시하고 종합하고 mixing 하는 역할을 하는데, 이때 다른 피질하 구조로부터 여러 정보를 받아 적절한 weighting을 주어 하나의 적절한 구조적 정보가 형성 되도록 한다. weighting하고, 혼합하고, 종합하는데 각성과 집중 기능이 무척 중요하며 시상이 바로 이 역할을 하는 것이다.

Crosson(13)은 표현되기 이전에 언어의 의미 기능을 감시하고 종합하는 기능을 시상이 담당한다고 하였으며, 특히 cortico-pallidal-striatal-thalamo-cortical circuit이 이 기능을 담당한다(8). 그리고 그 정보의 의미나 구조에 영향을 주는 정보는 다른 limbic paralimbic system에서 받는다. 또 frontal eye fields와 두정엽에서 선택적 집중을 위해 안구 운동을 조절할 때 superior colliculus와 같은 시상의 핵이 중요한 연결 역할을 한다.

3) Frontal lobe

두정엽과 측두엽 그리고 시상은 감각 정보의 selective attention에 중요한 역할을 한다고 했다. 전두엽과 앞으로 다룰 그 이외 피질하 구조들은 집중을 조절하

고 특히 반응과 관계된 집중 기능을 담당한다. 전두엽은 대부분의 집중 과정을 조절해야 하기에 전 과정의 기능과 연관되어 있다. 이를 크게 5가지로 나누어 생각해 볼 수 있다.

(1) arousal과 activation

전두엽은 망상체, 시상, cingulate gyrus 등이 담당하는 arousal과 activation의 기능을 조절하는 기능을 한다. Luria(3)는 내측과 안와 부위의 전두엽 손상이 orienting response와 방어적 반응, classical conditioning의 기대 반응 등에서 장애를 보였으며, dorsolateral 손상시 언어 표현 및 감각 운동과 운동 표현에 영향을 주었다고 했다. 그리고 그는 외측 전두엽은 activation의 특이적인(specific) 조절을 담당하고 내측과 안와 전두엽은 비특이적인 조절을 한다고 했다. 실제로 내측과 안와 전두엽 손상 환자에서는 언어적 자극으로 인해 뇌파적인 활성화가 나타나지 않았으나 외측 전두엽과 다른 부위 손상 환자는 이런 현상이 관찰되지 않았다고 했다. 또 다른 실험에서는 지속적인 지적 활동을 하면서 EEG 활성화가 없었던 반면 정상군 그리고 다른 전두부 및 부위 손상 환자는 활성화가 있었다. Khomskaya와 Luria(14)는 내측 및 안와 전두엽 손상 환자에서 event-related potential(ERP)를 검사했는데, 이 환자들에서 ERP가 잘 활성화되지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 자극에 대한 선택과 방해적인 집중을 하는 기능에 손상을 입은 것으로 해석할 수 있다. 그러나 일반적 활성화를 담당하는 brainstem 손상 환자는 이런 ERP 이상을 보이지 않았다. Bulter(15)는 전전두엽 손상이 autonomic orienting response의 amplitude가 감소 되는 것을 관찰하였으며 또 다른 그의 실험(16)에서 고전적 조절 반사가 소실되는 것을 관찰한바 있는데 이는 전전두엽이 정상적인 생리적 각성과 반응 활성화와 관계가 있다는 것을 시사한다.

또 Pribram과 McGuinness(4)는 전두엽이 손상된 원숭이에서 정상적인 기대 반응이 장애를 보이는 것으로 보아 전두엽이 신경 활성화의 유지와 분배를 담당하는 것으로 설명했다. 이러한 여러 보고들을 종합할 때 내측 및 안와 전두엽은 정보의 중요성에 변화가 있을 때 이에 대해 뇌를 선택적으로 활성화를 조절하는 역할을 하며 또한 행동 정도와 수준을 더욱 전반적으로 조절하는 역할을 한다고 볼 수 있다. 물론 이는 전두엽 단독만의 기능은 아니며 여러 피질하 구조와 연합하여 이를 일꾼다.

(2) movement, action and attention

운동과 행동에 있어 집중 역시 중요한 역할을 한다. 이러한 집중 기능을 전두엽이 역시 조절한다. 그것은 전두엽에 운동 조절을 가능케 하는 고위 중추 신경 센터가 있기 때문이다. 운동이 진행될 때 전두엽은 운동이 목적과 의도에 맞는지 감시하고 그 운동 프로그램을 억제, 촉진하므로 이를 조절하는데 집중 기능이 이 조절에 중요한 역할을 한다.

(3) eyemovement and attention

전두엽은 일반적인 운동 기능도 담당하지만 인지 기능에 아주 중요한 운동 기능을 섬세하게 조절하기도 한다. 그 중에 하나가 안구 운동 조절 기능이다. 다른 운동은 반응 기능에 대부분 포함되지만 안구 운동은 반응이라기 보다는 공간적 정보를 적절하게 입력, 선택하기 위해 필요한 감각적 운동 기능이다. 그래서 두 정엽의 공간인지 및 안구 운동 영역과 밀접한 관계를 가지고 활동한다. 이 부위는 8번 area이며 이 부위가 손상을 있게 되면 visual scanning과 attentional search가 되지 않음이 여러 실험에서 확인된바 있다 (17, 18). 그래서 전두엽의 안구의 saccadic activity와 orienting response에 관여하며, 공간속의 정보를 잘 구별할 수 있게 공간적 감각의 집중을 조절한다. 그리고 전두엽의 eye field는 시상과 subthalamic nuclei를 연결하여 시각의 선택적 집중을 조절하며 limbic system의 정보를 받아 동기가 부여된 반응도 한다.

(4) temporal attention

전두엽의 기능 중 가장 중요한 것은 정보를 시간적인 순서에 따라 계획하고 구성하는 것이다.

이때 이를 위해서는 시간의 흐름에 따라 이를 감시하고 이를 뒷받침하는 기억을 적절히 분배하는 기능이 중요한데, 전두엽의 집중 기능을 통해 이를 수행한다. 전두엽이 손상을 입으면 시간에 따라 정보가 밀접한 상관 관계를 가지고 연속적으로 구성되는데 장애를 보인다. 실험적으로는 이를 delayed response test로 알아볼 수 있다(19).

(5) executive control

어떠한 의도와 목적을 가지고 일을 수행해 낼 때 전두엽의 여러 기능이 종합적으로 사용된다.

그리고 이때 집중이 중요한 역할을 한다. 전두엽은 목적에 따라 제대로 수행되는지를 감시하며 순차적인 방향을 이끌어 가는데, 이때 선택적 집중과 지속적 집중이 중요한 역할을 한다.

집중의 신경해부학 및 정신생리

위의 5가지 기능을 요약하여 설명하면 다음과 같다. 전두엽은 자극을 구별하고 지연 반응과 움직임, 시각적 탐색, 사회적 감정 기능 등이 포함된 학습 과제를 수행시 집중 조절 기능을 담당한다. 이는 방해 자극을 억제시킴으로 수행할 수 있는데, 손상시 이 억제가 제대로 되지 않아 쓸데 없는 자극을 많이 받아 들이고 중요한 것을 제대로 가려내지 못함으로 집중 조절 기능에 장애가 생기는 것이다. 구체적인 장애를 보면 OR의 장애, 공간 선택 집중의 장애, 사회적 감정의 신호를 제대로 집중하지 못함으로 적응 장애가 생기고 내적 감정 상태 역시 잘 집중하지 못함으로 감정 경험에 장애가 발생한다. 전두엽은 이러한 기능을 부분적으로 수행하기보다는 종합적으로 수행한다. 이런 기능의 장애를 종합적으로 볼 때, 전두엽은 입력부터 반응에 이르기까지 정보처리의 전과정에 있어 조절 기능을 담당하기에 전두엽 손상시 전 과정에서 조절 장애가 발생한다. 즉 정보의 선택에서부터 반응적 선택과 그 과정의 자기 조절 능력에 장애를 보인다. 전두엽은 이를 다른 여러 피질하 피질하 구조와의 연결을 통해 수행한다. 전전두엽은 그 하부구조에서 오는 원초적 기능을 지연 혹은 억제시키기로 하는데, 손상시 충동적으로 되고, 지연 반응을 하지 못한다. 그리고 어떤 의도와 목적에 따라 반응을 시간적으로 조절하고 조직화하지도 못하며 가설에 따라 계획을 실행하고 점검하고 이를 수정해 나가는 일을 하지 못한다. 이를 집중이 포함된 자기 인식과 의식을 통해 수행하는데 전전두엽의 손상시 이 집중 기능이 장애를 받음으로 상기한 고도한 기능을 수행하지 못하는 것이다. 그 하부(주로 limbic system)의 원초적 감정을 억제만 하는 것이 아니고 이를 상부의 정보 처리에 전달하여 그 정보의 감정적, 원초적 동기의 중요성을 부가하여 그 하부 정보가 전달 반영되도록 조절하는 기능도 전전두엽이 담당한다. 전전두엽 손상이 이러한 감정 경험을 적절히 인식하고 집중하지 못함으로 정보 처리에 자신의 내부적 동기와 감정이 적절히 소화되지 못하는 장애를 보일 수 있는 것이다.

4) Cingulate Cortex

Cingulate cortex(CC)는 뇌의 내부 중앙에 위치한 구조물로서 그 하부의 subcortex, limbic system과 그 상부의 cortex를 이어주는 기능을 담당하며 그래서 이를 mesocortex 혹은 para-limbic cortex 라고 부르기도 한다. 해부학적으로 보면 anterior와 posterior CC로 나

누어지는 데 posterior는 상부의 cortex(주로 두정, 측두 및 전두엽)와 피질하 구조(thalamus, pons, basal ganglia) anterior CC와 상호 연결되어 있다. anterior CC와 피질하(시상, 기저핵 등)와 limbic system(n. accumbens, amygdala등)에서 주로 입력 fiber를 받는다.

초기 연구에서는 cingulotomy후에 지적, 인지적 장애가 거의 나타나지 않는 것으로 생각했다(20).

그러나 나중에 양측 cingulotomy시 일시적이기는 하나 akinetic mutism이 발생하며(21), 외측 손상시 표현 기능의 장애가 있으며(22), 기억과 시간적 순서를 회상하지 못하는 장애(23)가 있음을 알게 되었다. 또 PET 연구에서 초점 집중시 CC에서 활성화도가 증가되는 것이 관찰되었다(24). 그리고 같은 연구에서 anterior CC가 지속적 집중력을 담당한다고 보고되었다. 최근의 연구에서 (22) 불치의 통증을 치료하기 위해 cingulotomy한 경우에서 지속적, 초점 및 선택적 집중력이 감퇴되고 의도적 행동에 장애를 보였으며 언어를 연속적(verbal fluency)으로 말하는 것을 조절하는 기능에 이상이 왔다고 보고했다. 이 장애는 시간이 경과하면서 좋아지나 자기 스스로 반응(self-generating response)하는 것에는 심각한 장애가 초래되었다. 구체적으로, 스스로 하는 말(spontaneous verbalization), 창의적 해결 능력과 노력 욕구 등이 감소되었다고 보고했다. 이러한 보고들은 결론적으로 종합할 때 anterior CC는 집중적 노력을 스스로 생성해 내는 기능을 담당하며 그래서 집중의 강도 조절에 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다. 그리고 cingulotomy로 고통스러운 통증의 해소에 도움이 되는데 이는 통증 자체보다는 통증으로 야기되는 감정적 반응과 통증에 대한 집중을 감소시킴으로 도움을 준다고 볼 수 있다. 그러므로 CC는 집중의 방향을 정하게하는 정서적, 동기적 상태를 조절하는 기능도 한다. 그리고 cingulotomy시 OR의 habituation에도 장애가 발생한다고 한다(22). 이는 CC가 OR에 직접 관여하기보다는 limbic system에 OR의 자극의 감정적 중요성에 대한 정보를 주고 전두엽이 수행 반응을 조절할 때 CC가 이를 연결하는 역할을 함으로써 가능하다고 해석 할 수 있다. 그래서 이 장애는 CC 뿐만 아니라 전두엽, 피질하, 변연계, amygdala 등의 손상시에도 나타난다.

5) Limbic system

Limbic system은 위치적으로는 피질하에 속하나 해부학적으로 피질하에 포함시키지 않고 독립적인 구조물로 보는 것은 limbic system이 피질과 피질하를 연결시키는 기능을 하기 때문이다. 많은 구조물이 포함되나 중요한 몇 구조의 기능을 알아 보도록 한다.

(1) hippocampus(HP)

HP는 기억 기능에 중요한 역할을하는 것으로 알려져 있으며, 집중 기능에 대한 실험적 연구는 적은편이다. HP가 선택 혹은 초점 집중력에 큰 영향을 주지 않는다고 했다(25). 그러나 OR이나 덜 중요한 사소한 자극에 집중하는 경우나 배경과 차이가 나는 자극을 집중하는데 장애를 보였다(26). 즉 더 많은 탐색과 주의력이 필요하고 자극이 더 새롭고 복잡한 경우에 장애를 보여 HP는 쉽고 단순한 집중에는 문제는 없으나 복잡하고, 방해가 있고, 더 많은 집중과 주의력이 필요하며 기억 기능이 동시에 필요한 집중시 장애를 보인다고 볼수 있다.

(2) amygdala(AM)

AM는 정보 처리에서 drive state의 정보를 정서적인 반응의 형태로 전달한다. 이때 집중 기능이 어떤 역할을 하는지는 많이 알려져 있지 않다. 그러나 AM는 자율 신경의 강도를 유지하고(27) 시상하부에서 오는 내장과 생리적인 요구 상태의 정보를 받아 현재 외계 및 기억 정보의 처리에 감정적인 색채를 입혀 영향을 준다(28). 그래서 현재 정보의 욕구적인 감정적인 중요성에 대해 집중하도록하여 정보 처리가 더욱 조화되고 종합 되도록 한다. 그래서 AM는 OR의 유지와 habituation에도 영향을 주고 선택적 집중에도 기여한다.

(3) limbic nuclei

Limbic system에는 서로 구별되어 모여 있는 여러 핵들이 있는데 집중에 중요한 기능을 한다.

Nucleus basalis, septal nuclei, nucleus accumbens, substantia innominata 등이 이러한 핵들이다. 먼저 n. basalis는 손상시 수동적 회피 반응에 장애를 보이는 것으로 보아(29) 특히 미각 자극에 대한 정서적 반응에 중요 역할을 하며, 보상적 신호에 대한 반응과 같이 중요한 자극의 전달자로서의 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 이 반응에 물론 집중 기능이 중요하다. Stepaln. 손상시에는 심한 분노와 격심한 정서적 반응을 보이며(30) 자극시 쾌락 반응을 보이기도 한다(31). 감정적 반응에서 AM와는 반대의 관계를 보이는 것

로 알려져 있다(32). N. accumbens는 positive reinforcement를 전달하는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 자극시 쾌감을 느끼며, 진통 마약류(morphine 등)가 작용하는 곳으로 알려져 있다. 물론 이러한 기능은 그 집중 기능을 통해 이루어진다. 그리고 septal n 와 substatia innominata 등은 Ach이 풍부한 fiber가 많으며 기억 기능에 중요한 역할을 한다(33). 전체적으로 limbic n의 핵들은 중요한 자극에 대해 집중하여 강하게 반응하도록 하는 연결 역할을 영향을 하며 이때 기억 역시 중요한 영향을 미친다.

(4) mesocortex

Cingulate cortex편에서 자세히 다루었으나 다시 종합적으로 언급하면 다음과 같다. Mesocortex는 cortex의 정보를 limbic system의 정보와 만나서 처리 되는 것을 조절하는 곳으로 볼수 있다. Mesulam(23)은 대뇌피질의 여러 연합정보와 하부의 일차적인 자극과 반응의 정보들이 함께 모여 buffer를 이루는 곳으로 보았다. 그래서 내적인, 정서적, 충동적인 자극을 피질 정보에 따라 억제하고 조절하여 limbic system의 문(gate)과 같은 역할을 한다고 했다. 이를 mesocortex의 집중 기능을 통해 조절한다. 물론 하부의 정서적 정보가 피질 정보에 개입, 영향을 주도록 하부 정보를 집중 촉진 시키는 기능도 동시에 한다. 그러므로 피질과 피질하 구조에서 진행중인 정보 처리에 감정적 반응의 방향을 조절할수 있게 한다.

6) Hypothalamus(HT)

HT는 시상, 중뇌, limbic 및 paralimbic system과 연결되어 있으며 특히 limbic system과는 reciprocal circuit을 가지고 있다. Medial forebrain bundle, mammillary peduncle, hypothalamotegmental tract 등이 나가는 fiber이며 들어오는 fiber로는 stria terminalis, ventral amygdalofugal fiber 등이 있다. 먼저 HT는 본능적 욕구(식욕, 성욕 등)를 통해 행동에 영향을 주며 이때 집중 기능이 수반된다. 그리고 이 욕구로 인해 전반적인 각성과 의식 수준에도 영향을 준다. 실제로 앞쪽 HT 자극시 narcoleptic 수면 상태에 빠지고 뒤쪽 HT 자극시 각성 상태를 일으킨다. 그리고 HP의 suprachiasmic n.(SCN)은 이 각성과 수면의 circadian rhythm을 조절하는 center로 알려져 있다(34). HT 파괴시 자율 신경계 기능에 장애가 생기며, 상부의 인지 기능과 말초의 생리적 상태와의 연결 기

능에도 이상이 온다. 그리고 본능적 욕구와 관계된 감정적 행동에도 장애가 온다. HT는 외계 조건과 정보에 대해 생리적, 본능적 상태를 전달하고 적응시킴으로 환경과 자극에 반응하도록 한다. 즉 다양한 충동과 감성을 일으켜, 반응을 촉진 혹은 억제 시키고, 감성적, 욕구적 상태를 만들어 행동과 반응의 방향을 인도한다. 이때 집중 기능이 중요한 역할을 한다. 실제 실험에서(35) 외측 HT 손상시 혐오 자극에 대한 적극적 회피 반응에 장애를 보였고 reinforced behavior의 장애, attentional neglect OR 등의 장애가 있음을 관찰하였다. SCN을 포함한 앞쪽 HT 손상시 circadian 리듬의 장애와 집중 기능의 시간적 조직화에 이상이 왔다(36). 그리고 각 부위의 생리적 center가 손상을 입을 때 예를 들면 feeding center 손상시 음식에 대한 inattention이 있었다. HT는 본능적 욕구의 상태에 따라 전반적인 각성 상태와 선택적 반응의 활성도를 조절한다. 그리고 HT는 본능적 욕구와 현재 진행중인 정보 처리를 연결시켜, 그 정보의 욕구적, 생리적 중요성을 전달하는데 이 때 초점 및 지속적 집중을 가동하여 그 정보 처리를 유지, 변경, 중단 함으로 영향을 주는 것이다.

7) Reticular System(RS)

RS는 뇌간의 망상핵과 시상의 intralaminar n.을 합하여 일컫는 system이다. 이는 EEG 리듬의 pacemaker 역할도 하고(37), cortical arousal 수면 각성 리듬 등을 조절하는데 아주 중요하며 이를 ascending reticular activating system(ARAS)라고 부른다. 특히 ARAS는 모든 각성과 집중 기능의 원천적인 에너지를 공급을하는 발전소와 같은 역할을 한다. 그래서 ARAS를 집중의 center 라고 하며(38, 39) OR과 반응을 촉매 시키는 역할도 한다. ARAS가 없이는 모든 집중 기능이 불가능하다. ARAS와 OR과 각성 상태를 통해 집중의 전반적인 강도를 조절하고 선택적인 집중의 강도의 에너지원도 제공한다.

3. 정보처리와 집중의 신경 해부학

앞서 집중과 관련된 신경 해부학 구조에 대해 각각 설명하였다. 그러나 집중 기능을 정보처리의 흐름속에서 이해하고 그 기능이 신경 해부학적으로 어떤 구조들과 상호연관 되어있는지 이를 종합적으로 이해할 필요가 있다. 앞의 절에서 집중의 신경 심리학적 모형에 대해 언급하면서 저자는 Cohen의 모형을 중심으로 집

중을 설명하고자 하였다. 이 절에서는 이를 조금 더 자세히 설명하면서 연관된 신경 해부학적 구조에 대해서도 같이 설명하려고 한다.

먼저 외부 자극이 입력되어 선택되어짐으로 정보처리가 시작된다. 이 과정을 조금더 자세히 설명하면 외부 정보가 일차 감각 피질에 등록되어야 정보처리가 시작 되는데 그 이전에 아주 짧지만 피질하 구조의 활성화가 먼저 있게된다. 이를 orienting response(OR)라고 한다. OR은 새롭고 필요한 자극이 있을 때 이를 자세히 분석하기 이전에 우선 전체적으로 간단히 인식하여 뇌가 이를 받아들이고 분석하기위해 준비시키는 상태를 말한다. 그래서 자세의 변화, 자극으로 향한 집중의 이동, ARAS가 활성화됨으로 발생하는 각성 상태 그리고 여러 자율 신경계의 변화가 있게 된다. 그런데 이 반응은 외계 정보가 일차 피질에 등록되기 전인데도 불구하고 이미 많은 뇌에 순간적으로 전달된다. <뇌의 정보 처리의 특성은 시간에 따라 선형적으로도 진행되지만 전체적으로 동시적인 처리와 함께 선형적으로 진행된다.> 그러므로 시간적으로는 일차 피질에도착하여 분석 처리도 되기 전이지만 대부분의 뇌가 일차적으로 아주 원초적으로 먼저 반응한다. 이것이 OR인 것이다. 그러므로 OR은 자극의 행로에 있어 ARAS만 관여하는 것은 아니다. 대부분의 뇌가 동시에 짧은 순간에 반응하는 것이다. 우선 지금 자극이 자세히는 분석되지 않았지만 전체적으로 그 특징 만을 대강 보았을 때 과연 지금 이 정보가 필요한 것인지를 뇌는 먼저 판단해야 한다. 정보가 들어가기도 전에 아주 짧은 순간에 뇌가 반응하고 판단해야 하는 것이다. 그래서 그 정보는 짧은 순간에 기억과 감정, 생체 내부의 정보들을 자극하여 이 정보가 과연 필요한 것인지를 판단하여 반응하게 하는 것이다. 그래서 OR은 limbic, hypothalamus, 전두엽 모두가 반응하며 특히 hippocampus가 ARAS를 조절하여 arousal의 상태를 결정해 주는 것이다. 그래서 앞절에서 밝힌 대로 OR은 ARAS만 아니라 위의 여러 구조에 손상이 있어도 장애가 나타나는 이유가 여기에 있는 것이다. 그리고 이때 superior colliculus도 자극이 되어 자극 정보를 향한 saccadic eye movement가 있게 된다. ARAS의 arousal은 다음 정보 처리가 훨씬 빨리 쉽게 진행될 수 있도록 energy를 활성화 시켜주는 것을 말하며 이는 자동차가 곧 움직일 수 있도록 엔진의 시동을 걸어 놓는 것과 유사하다. OR의 정신 생리학적 변화에 대해

서는 다음 절에서 설명할 것이다.

이 과정을 거쳐 대뇌의 일차 피질에 도착한 정보는 이제 자세한 정보 분석에 들어간다. 먼저 filter 과정이 있다. cortex에서 filter는 여러 정보속에서 내가 필요한 것을 더욱 더 선명하게 찾아내고 필요없는 것을 억제 시키는 과정이다. 쉽게 말해서 찾는 그 정보를 배경과 noise로부터 분리 시켜내는 작업이다. 물론 일차적으로 OR이 발생할 때 ARAS 수준에서 많이 filter되어 그래도 필요한 부분만 대뇌 피질에 도착하지만, 그 정보는 아직은 많이 다듬어야 하는 덩어리 상태이기에 filter 과정을 통해 찾는 부분을 더 선명하게 드러내는 것이다. 그다음 focus와 enhancement의 과정이다. 내가 찾는 부분을 더 자세히 부각시키고 강조하는 과정이다. 이는 마치 조각하는 과정과 유사하다. 우선 전체 모양과 비슷한 돌을 구해서 점점 내가 원하는 것을 깎아내고 찾아내는 과정과 유사한 것이다. 이를 통해 featural analysis와 extraction을 하며, 이런 여러 개의 특징을 다시 종합하는 sensory integration 과정을 거친다. 그리고 이런 과정 속에서 계속적으로 과거 기억 정보와 생체내 정보를 자극하여 과연 이 정보가 처음인 상태로 유용하고 필요한 정보인지 그 중요성 (saliency)를 대뇌 피질에 제공해 준다. 그래서 sensory integration과 motivation-information saliency가 종합되어 하나의 유용한 정보로 인정되어 선택되어 지는 것이다. 이것이 하나의 외계 정보가 sensory selection 되는 과정이다. 이 때 대부분의 과정은 자동적이고 무의식적이다. 그러므로 의식적 집중이 개입되지 않는 전의식 상태(preattentive state)이다. 그러나 OR과 sensory selection 과정에서는 짧지만 의식적인 attention이 가동되어 내가 이를 받아들이고 선택하는 것이다. 즉 자동적인 등록과 분석과정은 무의식적으로 진행되지만(의식은 안되는 정도지만 사실 약한 집중의 현상은 있다) 어떤 선택을 하고 판단을 해야 하는 순간에는 의식적인 집중현상이 있게 되는 것이다. 이것이 의식 기능의 중요한 기능중에 하나이다. 전집중적 분석 과정을 시각 정보로 볼 때 V1(area17), V2, V3, V4(area 18과 19) 등에서 일어나며 의식의 선택적 집중 현상은 heteromodal associative cortex인 parietal과 temporal에서 일어난다. 이는 여러 공간적 정보속에서 종합하고 선택 집중해야 하기 때문에 parietal lobe에서 발생하며 이 때 eye movement가 역시 중요한 역할을 한다. 선택 판단해야 하는 정보에 더 많은 시

선을 주어야 하기 때문에(공간적 이든 아니든 정보 처리에는 안구 운동이 수반된다) 이 부위가 선택적 집중에 아주 중요한 것이다.

정보는 입력에서부터 중앙 처리 및 반응의 과정에서 정보 처리의 어떤 기준이 있다. 그 기준에 따라 집중 능력이 부과되어 선택 되어지고 판단되어 진다. 그 기준은 정보적, 동기적 중요성이라 앞서 말한바 있다. 그런데 이 중요성은 모든 정보 처리 과정에 영향을 주나 특히 중앙처리 과정에서 가장 큰 영향을 미친다. 그런데 이 중요성은 어떻게 결정되어지며, 신경 해부학적으로 어떤 구조들이 관여 되어질까?

생체 시스템이 정보적으로 아주 강한 두 가지 성향이 있다. 그 개체가 생물체로 존재하기 위해 정보는 열역학적으로 아주 중요한 역할을 하는데 정보가 negentropy라하여 생체의 엔트로피를 감소시켜 안정과 질서의 상태로 보존하려는 성향을 갖는다는 것이다. 이것이 정보의 보존성이라 할 수 있다(40 - 43,8) 그러므로 생체내의 정보는 자기를 스스로 보존하려는 강한 욕구를 갖게되며. 새 정보가 오면 새 정보를 기존 정보에 가능한 강하게 연관시키고 수용시켜 정보를 계속 안정화 시키려고 한다. 그러나 이와 반대로 생체는 기존 정보를 보존하는 것으로만 새 환경에 살아남을 수 없다. 환경에 적응하기 위해서는 환경의 새 정보를 신속하고 예민하게 받아들이고, 새 정보에 의해 기존 정보를 변용시키려는 또 다른 강한 정보적 성향을 갖게 된다. 그러므로 정보는 기존 정보로 보존되려는 성향과 새 정보로 변용되려는 갈등적인 욕구를 갖게 되며, 이 욕구가 정보 처리의 중요성을 선정하는데 가장 중요한 역할을 하게 된다. 생체의 자기 보존과 변용의 욕구는 크게 두 가지 차원에서 일어난다. 하나는 생체가 종족 내지는 자기로서 보존하려는 본능적 성향이다. 이는 시상하부의 여러 기능(식욕, 수면욕, 성욕 등) 등을 통해 영향을 미친다. 그리고 또 다른 욕구는 기억 정보가 구조적으로 자기를 보존하고 변용해 나가는 것이다. 이는 cortex (parietal과 temporal lobe 이 특히 중요)와 hippocampus 등이 관여 하는데 기억과 정보 처리에 대해서는 저자의 또 다른 글에서 자세히 다룬바 있어(8), 여기서는 생략하기로 한다.

이 생체적, 정보적 보존 및 변용 욕구는 어떤 중요성의 기준을 제공하여 이에 따라 정보 처리에서 동기적

(motivational), 감정적(emotional), 의도적(intentional), 가중치(weighting)가 매겨지게 된다. 그리고 그 가중치의 정도에 따라 더 강한 energy가 공급되게 되고 이것이 어느 수준 이상의 arousal을 일으키게 되면 의식적인 집중 현상으로 인식되어 지는 것이다. 이러한 과정에 참여하는 해부학적 구조는 어떤 것이 있을까? 생체적으로 자기 보존적인 정보는 시상하부를 통해 amygdala에서 감정적인 무게와 에너지를 배분한다. 기억에 따라 현재 정보가 자기에게 안정을 주고 보존적으로 유익했던 것이면 받아들이고 불편하고, 혐오스럽고 불안정과 갈등을 야기했던 기억이 있으면 그 정보를 거절하고 억제할 수 있다. 조건 반사적인 모형과 유사하는 이는 hippocampus, amygdala 및 여러 limbic nuclei(basal n, septal n, n. accumbens) 등이 담당한다. 그리고 과거 정보와의 비교에서 정보적 보전과 변용의 성향에 따라 정보를 강화하고 억제하는 기능은 cortex와 hippocampus의 loop가 주로 담당한다(44).

이러한 정보의 중앙 처리 과정을 거쳐 뇌는 어떤 반응을 유출해 낸다. 이 반응은 어떤 새로운 정보를 낳는데, 이는 언어와 행위로 표현되기도 하고 새 정보로 기억(encoding)되기도 한다. 이 과정을 반응 선택(response selection)이라고 한다. 이 반응은 감각 선택과 중앙처리 과정을 통해 얻어진 정보가 과연 내가 원하는(의도하는) 정보인지, 생체 내의 중요성의 기준에 따라 제대로 처리된 것인지 그리고 이로 인해 현재 외부의 상황과 정보가 잘 적응해나가고 문제가 없는지 분석, 감시 및 평가하고, feedback과 문제 해결을 해나가는 과정이다. 여러 정보들이 날개로 평행하게 처리되면서 감각의 정보가 생체내의 의도성에 의해 적절하게 산출되었는지 각각의 얻어진 정보가 전체 가설이나 계획과 잘 일치하며 진행되고 있는지를 감시하고 평가한다. 그리고 현재 진행되고 있는 반응적 정보를 내적 의도성과 계획 그리고 현재 들어오는 현실의 정보에 따라 종합하고 적응하고 변화시키는 일을 하는 것이다. 이를 반응 종합체계(response integration system)라 하며 이 체계의 선택에 따라 반응이 수행되는 것이다. 그러나 이 반응의 수행 역시 일방적으로 진행되지 않고 현실의 context에서 계속 feedback을 받으면서 반응은 계속 수정되며 수행 되어지는 것이다. 이때 대부분의 과정이 자동적으로 무의식적으로 처리된다. 그러나 그 과정에 갈등이 많고 많이 감시하고 평가, 선택,

판단해야 하는 경우 그 정보 처리에 더욱 더 많은 energy를 공급받게 되고 이로 인해 어느 수준 이상의 arousal에 도달하게 되어 의식적인 집중 현상으로 인식되게 된다. 습관적인, 단순한 반응이 아니고 새롭고 중요한 반응적 선택이 있는 경우 대부분 의식적 집중이 동행하게 된다. 그리고 이 반응이 새 기억으로 encoding 될 때도 집중과 에너지 공급이 중요한 역할을 한다.

이 때 가장 중요하게 관여하는 해부학적 구조는 전두엽이다. 반응의 종합과 선택의 과정에서 보여지는 대부분의 기능이 전두엽의 기능이기 때문이다. 그리고 전두엽의 이 종합 및 선택 기능을 수행하는데 보조적인 역할을 하는 해부학적 system들이 있다. 기억의 중요성의 정보는 hippocampus와 limbic nuclei를 통해, 생체 내부의 중요한 정보와 감정적 정보는 hypothalamus와 amygdala를 통해 mesocortex인 cingulate gyrus에 intentionality로 전달 된다. Intention은 어떤 energy를 가지고 반응의 흐름에 영향을 준다. 반응의 전체 계획은 역시 전두엽에서 관할하는 데 이 역시 cingulate gyrus를 통해 intention에 영향을 주어 정보 처리를 진행 시킨다. 그리고 새롭게 반응되어 나타나는 정보가 과연 의도대로, 계획대로 되고 있는지를 내적으로 실행하고 평가하는 해부학적 구조와 loop가 있는데 cortico-striatal-pallido-thalamo-cortical loop이다.

이는 필요한 여러 기억 정보를 cortex에서 basal ganglia 통해 release 한 다음 thalamus가 의도에 맞는 지를 감시 평가 선택하는 loop이며 언어와 기억 기능에 아주 중요한 역할을 한다(8,45).

이러한 정보처리는 전 과정에서 attentional capacity와 sustained attention(혹은 performance)에 많이 의존된다. 그래서 마지막으로 attentional capacity와 maintenance에 대해 설명하고자 한다. attentional capacity는 크게 두 가지 요인으로 나눌 수 있다. Energetic factor와 structural factor이다. Energetic factors는 arousal, motivation, effect 등을 말하며 structural factors에는 memory capacity, processing speed, temporal dynamics, spatial constraints, global resonance 등이 있다. 그리고 sustained attention에는 vigilance, fatigability, reinforcement contingency 등의 요소들이 관여하고 있다. 결국 정보 처리는 신속하고 정확하게 처리되기 위해서는 이 정보 처리를 지지

하는 energy가 계속 공급되어야 한다. 많은 data를 공급하고 신속하고 정확하게 처리하기 위해서는 이러한 attention의 능력이 많아야 하고 그 능력이 지속적으로 공급되어야 하는 것이다. 이러한 집중 기능의 능력은 많은 부분이 뇌기능의 체질적인 효율성에 의존한다. 사람마다 집중 기능의 효율성과 능력이 다르다. 그리고 사용 될 수 있는 뇌 에너지를 그 사람이 얼마나 효율적으로 사용하고 있는나도 아주 중요한 요인이다.

에너지를 정말 필요한데 집중적으로 사용할 수 있고 이때를 위해 얼마나 평소에 그 에너지를 소모하지 않고 비축해 두었느냐도 아주 중요하다. 늘 긴장하고, 방어하고 충분히 relax나 수면을 취하지 못하는 사람은 뇌 에너지를 제대로 관리하지 못하고 낭비하는 사람이라고 보아야 할 것이다. 에너지와 집중 기능 그리고 정보처리 및 정신적 장애에 대한 상호 관련성이 아주 중요한데 이에 대해서는 다음 기회에 정리 발표 하려고 한다. 이러한 집중력의 능력과 유지 기능은 뇌의 어느 부위에서 담당할까? 가장 중요한 집중한 에너지의 원천은 역시 reticular activating system 이다. 그리고 이를 더욱 세분하여 배분하는 system은 thalamus, cingulate gyrus 등이다. 그리고 이를 조절하는 system 으로서 hippocampus가 가장 중요하며 그의 hypothalamus, amygdala, frontal lobe, parietal and temporal lobe 등이 될 것이다. 그리고 뇌의 실제 metabolism과 ATP, neurotransmitter 등이 또 중요한 energy 원이 되고 있으며, 이러한 집중은 이러한 biochemical state에 많이 의존되고 있다.

4. 집중의 정신 생리

집중의 기능은 전기 생리학적으로 inhibitory와 excitatory의 상호 작용으로 발생된다. 집중을 조절하는 여러 해부학적 이러한 기능이 있지만 대표적으로 몇 가지를 들면 다음과 같다. 피질하 정보를 피질이 조절할 때, 전두엽의 억제 기능, reinforcing stimuli에 대한 반응으로 limbic system 내의 amygdaloid와 septal n의 상호 작용, 시각의 선택적 집중을 하는데 사용되는 lateral inhibition 등이 그 대표적인 system 들이다. 결국 집중 기능은 이러한 전기 생리학적 상호 작용으로 발생되기 때문에 생체에서 직접 전기 생리학적으로 관찰하기는 어렵지만 그 총체 적인 결과로서 그 생리적인 변화가 기록될 수 있을 것이다. 집중 현상이 일어나면 ARAS의 arousal 이 동반되고 이는 말초의 자율

신경의 변화를 초래한다. 그래서 집중을 말초의 자율신경의 변화로 기록하고 연구할 수 있다. Arousal이 있게되면 피부 저항(GSR)이 감소되어 dermal potential이 증가되고, pupil의 팽대, 심장 박동, pulse volume 및 호흡의 증가, EEG의 alpha vk blocking 및 근전도의 증가 등이 나타날 수 있다(46). 이러한 반응의 대부분은 arousal의 척도 혹은 OR 및 habituation의 정신생리학적 척도로 사용된다. 이중에 심장 박동은 일률적으로 반응하지는 않는 것이 특징이다. 즉 task의 종류와 집중의 내용에 따라 달라진다. task가 적극적인 directional attention을 요구할 때는 교감 신경이 자극되면서 심장 박동이 빨라진다. 그러나 운동 신경의 반응이 없이 수동적으로만 자극을 집중할 때는 부교감 신경이 자극되면서 오히려 심장 박동이 더 느려진다. Lacey(47)는 이 기전을 intake-rejection 가설로 설명한 바 있다. 즉 정보를 수동적으로 intake할 때는 deceleration이 되고 정보를 선택적으로 거부해야 할 때는 acceleration이 된다고 했다. 기대를 하고, 거부를 하고, 선택을 하고, 반응을 해야 하는 집중에는 acceleration이, 단순히 수동적으로 받아드리는 집중시에는 deceleration이 된다고 하였다.

집중 현상을 중추 신경계의 정신 생리학적 반응으로 직접 관찰할 수 있는데 그 대표적인 것이 사건 관계전위(event related potential; ERP)이다. 인지적인 사건과 관계되어 대뇌에 일정한 시간대에 어떤 전위가 형성되는데 이를 ERP라고 한다. 이 전위는 의식적 집중으로 인지되든 아니든 에너지가 많이 분배되는 중요한 인지적 처리 과정이라고 볼 수 있다. 첫 번째 양전위가 생기는데 이를 P1이라 하며 일차 피질에 도달하여 등록되는 사건으로 본다. 이는 자극의 modality에 따라 그 반응 시간이 다르다. Somatosensory는 50 msec 근방에서, visual은 100 msec 근방에서, auditory 10-30 msec 근방에서 발생한다. 이 전위를 subcortex의 OR의 반응과 연결 시키기도 하나 큰 의미를 부여하지는 않고 있다. 피질의 집중의 기능보다는 일차 피질까지 이르는 pathway의 기능을 보는데 더 많이 이용되고 있다. ERP에서 그 다음으로 나타나는 전위가 N1 이다. 첫 번째 음 전위로서 대개 80에서 120 msec사이(청각에서) 많이 나타나며 선택적 집중과 관계된 것으로 연구되고 있다(48).

특히 선택적인 집중을 할 때와 아닐 때의 전위의 차이를 Nd(negative difference)라고하여 집중을 야기시

결론

키는 에너지의 증가의 양으로 평가하고 있다(49). N1이 선택적 집중과 관계되고 그 peak distribution이 parietal lobe인 점으로 보아 heteromodal association cortex인 parietal 및 temporal lobe에서 발생하는 선택적 집중과 동일시 할 수도 있으나 그렇게 쉽게 단정하기는 어렵다. 앞서 밝힌 sensory integration과 selection의 광범위한 기능 보다는 cortex의 filtering 과정과 관계되는 전위가 아닌가하는 해석도 있다(50). 그리고 그 다음 P2와 N2가 나타나나 인지적 의미나 임상적 의미는 아직 확실히 잘 모른다 P2를 N1의 선택적 집중의 연속 선상에서 해석하기도 하며 N2는 뭔가 다른 자극에 대한 mismatch negativity 혹은 passive orienting response로 보기도 한다(51).

ERP중 가장 일정하게 나타나는 전위이며 가장 많이 연구된 전위는 역시 P3 혹은 P300일 것이다.

이는 자극을 평가하여 적절하게 반응할 때 발생하는 큰 양 전위이다(52). 이 전위는 자극의 발견, 확률과 집중의 능력 등에 따라 달라진다. 그래서 P3를 indexing uncertainty, affective value, orienting, expectancy, equivocation, stimulus evaluation, context or schema updating, short term memory reset 등으로 기술하기도 한다(51). Johanson(53)은 P3의 진폭이 주관적 확률 자극의 의미 및 정보 전달에 의해 결정된다고 했다. 즉 확률적으로 적게 나타나는 자극일수록 진폭이 높고 자극의 의미 즉 복잡성이 많고 자극의 가치와 중요성 높을수록 진폭이 높으며 정보가 모호하지 않고 확실하여 그 양이 많이 전달 될 수로 진폭이 커진다고 했다. 그리고 그 잠복기는 그 사건을 판단하고 분류하는데 걸리는 시간을 반영하는데 역시 P3의 진폭에 영향을 준 세 가지 요인에 많이 의존된다. 그렇다면 이런 ERP의 각 전위는 뇌의 어느 부위에 발생되는가? 집중과 정보 처리가 어느한 부위에서 발생하지 않고 전체 구조와 시스템이 참여를 하듯 각 전위도 어느 특정 부위가 관계한다고 단정적으로 설명하기는 어렵다. 그러나 많은 연구에서 N1은 cortex(parietal)와 medial frontal cortex, mesocortex(cingulate) 등이 중요한 기능을 하며 아울러 hippocampus를 위시한 limbic system도 참여 하고 있는 것으로 생각된다(54). 그리고 P300은 thalamus, hippocampus, pallidus, mesocortex, parietal cortex 등이 중요한 역할을 하는데 특히 기억 회로가 있는 cortico-hippocampal loop가 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다(54).

집중은 생체가 자신을 보존하고 현실에 적응해 나가는 데 필요하다고 생각되는 중요한 정보가 발생시, 이를 입력하고 선택하고 적절하게 처리하여, 의도했던 대로 유용한 정보와 반응을 얻도록 하는 기능을 한다. 생체는 자신이 가진 뇌의 에너지를 위와 같은 중요한 정보 처리에 우선적으로 분배함으로 생체가 환경에서 생존하도록 도우며, 중요한 정보 처리에 이 에너지가 분배되어 인지적으로 발생하는 현상이 집중 기능인 것이다. 이 집중 기능은 정보 처리를 조절하는 그 어떤 뇌의 부위에서도 발생할 수 있다. 유용한 정보가 발견되면 그 정보가 일차 피질에 등록 되기 전에 그 중요성을 일차적으로 판단하여 각성 상태를 일시적으로 발생 시키는데 이를 orienting response(OR)라 한다. 이때 그 정보의 유용성을 전체적으로 인식하고 판단하는데 cortex-hippocampus의 기억 회로, limbic system, hypothalamus, 전두엽 등이 반응하며, 각성은 최종적으로 hippocampus를 통해 ascending reticular activating system(ARAS)이 발생 시킨다. 그후 정보는 일차 및 이차 피질을 통해 분석되어 parietal 및 temporal lobe의 heteromodal associative cortex에서 종합 및 선택이 일어나며 이 선택에 집중이 중요한 역할을 한다. 생체는 자신의 존재와 정보를 보존하고 현실에서 적응하여 새 정보로 변용되려는 욕구에 따라 정보 처리를 하여 최종적으로 자신이 의도하는 정보와 반응을 얻게되는데, 이 정보 처리에 집중이 중요한 역할을 한다. 정보의 중요성에 자료를 제공하는 해부학적 구조로는 hypothalamus, cortico-hippocampal loop, amygdala, limbic nuclei 등이 있으며 이에 대한 정보를 산출하고 반응하는 계획을 세우고 의도대로 진행되는 지를 감시하고, 수정하고, 선택하는 기능을 하는 구조로서는 frontal lobe, cingulate gyrus, cortico-striatal-thalamo-cortical loop 등이 관여하고 있다. 이런 정보 처리가 가능하도록 하는 데는 집중의 능력과 지속성이 아주 중요한데 ARAS, thalamus cingulate gyrus가 집중력에 가장 기초적이고 지속적인 힘을 제공해 주며 그외 여러 뇌 기능이 이를 도와 준다. 집중을 가장 잘 기록하고 연구할 수 있는 방법이 정신 생리학인데, 각성이 발생할 때 외부저항, 심방 박동, 공동, 근전도 등의 말초신경과 뇌파 등이 변화 한다.

그리고 event related potential(ERP)의 여러 전위가

정보 처리에서 집중 현상과 밀접한 관계를 가지고 있다. P1은 OR과, N1은 선택적 집중과 관계가 있으며 P3는 정보를 평가하고 반응 선택하는데 필요한 집중과 관계있다.

중심 단어 : 집중, 신경해부, 정신 생리, 정보 처리, 신경 심리

References

1. Heilman KM, Watson RT and Valenstein E. Neglect and related disorders. In *Clinical Neuropsychology*, ed by Heilman KM and Valenstein E, New York and Oxford, University Press, 1985, 243-293.
2. Mesulam MA. A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Archives of Neurology* 1981;10 :304-325.
3. Luria AR. *Higher Cortical Function in Man*(B. Haigh, trans) New York, Basic Books, 1966.
4. Pribram KH and McGuiness D. Arousal, activation and effort in the control of attention. *Psychological Review* 1975; 82:116-149.
5. Posner MI. Orienting of attention : The VIIIth Sir Frederic Bartlett Lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1980; 32:3-25.
6. Mirsky AF. The neuropsychology of attention. Elements of a complex behavior. In *Integrating Theory and Practice in Clinical Neuropsychology* ed by Perelman E, Hillsdale, NJ, Erlbaum Associates, 1989.
7. Cohen RA. *The Neuropsychology of Attention*. New York and London, Plenum Press, 1993.
8. 이성훈. 기억의 뇌기전과 정신과학. *신경 정신 의학* 1998; 37(1):14-37.
9. Lezak MD. Behavioral geography of the brain. In *Neuropsychological Assessment*. New York, Oxford University Press, 1995, 45-96.
10. Heilman KM and Valenstein E. Mechanisms underlying hemispatial neglect. *Annals of Neurology* 1979; 5:166-170.
11. Hecaen H, Penfield W, Bertrand C and Malmo R. The syndrome of apractognosia due to lesions of the minor hemisphere. *Archives of Neurology and Psychiatry* 1956; 75:400-434.
12. Ferro JM, Kertesz A and Black SE. Subcortical neglect: Quantitation, anatomy and recovery. *Neurology* 1987; 37:1487-1492.
13. Crosson B. Subcortical functions of language: A working model. *Brain and Language* 1985; 25:257-292.
14. Khomskaya ED and Luria AR. *Problems in neuropsychology: Psychophysiological investigations*. Moscow: Nauka, 1977.
15. Butter CM. Habituation of responses to novel stimuli in monkeys with selective frontal lesions. *Science* 1964; 144:313-315.
16. Butter CM. Preseveration in extinction and in discrimination reversal tasks following selective frontal ablations in macaca mulatta. *Physiology and Behavior* 1969; 4:163-171.
17. Butter CM, Rapcsak S, Watson RT and Heilman KM. Changes in sensory inattention, directional motor neglect and "release" of the fixation reflex following a unilateral frontal lesion: A case report. *Neuropsychologia* 1988; 26:533-545.
18. Goldberg ME and Bruce CJ. The role of arcuate frontal eye fields in the generation of saccadic eye movements. *Progress in Brain Research* 1986; 64:143-15(4).
19. Glick SD, Goldfarb TL and Jarvik ME. Recovery of delayed matching performance following lateral frontal lesions in monkeys. *Communications in Behavior and Biology* 1969; 3:299-303.
20. Barris RW and Schuman HR. Bilateral anterior cingulate gyrus: Syndrome of the anterior cingulate gyri. *Neurology* 1953; 3:44-52.

21. Laplane D, Degos JD, Baulac M and Gray F. Bilateral infarction of the anterior cingulate gyri and of the formices. *Journal of the Neurological Sciences* 1981; 51:2889-300.
22. Cohen RA, McCrae V, Phillips K and Wilkinson H. Neurobehavioral consequences of bilateral medial cingulotomy. *Neurology* 1990; 40(1):198.
23. Mesulam MM, Principles of Behavioral Neurology. Philadelphia, FA Davis, 1985.
24. Peterson SE, Fox PT, Posner MI, Mintun M and Raichle ME. Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience* 1989; 1(2):153-170.
25. Isaacson RL. The hippocampal formation and its regulation of attention and behavior. In *Sensory Function: Advances in Physiological Sciences* (vol.16). ed by Grastyan E and Molnar P, New York, Pergamon Press, 1982.
26. Bauer RH. Brightness discrimination of pretrained and nonpretrained hippocampal rats reinforced for choosing brighter or dimmer alternatives. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 1974; 87:987-996.
27. Anand BK and Dua S. Effect of electrical stimulation of the limbic system("visceral brain") on gastric secretion and motility. *Indian Journal of Medical Research* 1956; 44:125-130.
28. Cohen RA and Water W. Psychophysiological correlates of levels and states of cognitive processing. *Neuropsychologia* 1985; 23(2):243-256.
29. Flicker C, Dean RL, Watkins DL, Fisher SK and Bartus RT. Behavioral and neurochemical effects following neurotoxic cortex in the rat. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior* 1983; 18:973-981.
30. Moore RY. Effects of some rhinencephalic lesions on retention of conditioned avoidance behavior in cats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 1964; 53:540-548.
31. Heath RG and Mickle WA. Evaluation of seven years' experience with depth electrode studies in human patients In *Electrical Studies of the Unanesthetized Brain* ed by Ramsey ER & O' Doherty DS, New York, Hoever, 1960, 214-24(2).
32. Corman DC, Meyer PM and Meyer DR. Open field activity and exploration in rats with septal and amygdaloid lesions. *Brain Research* 1967; 5:469-476.
33. Whitehouse PJ, Price DL, Clark AW, Coyle JT and DeLong MR. Alzheimer disease: Evidence for selective loss of cholinergic neurons in the nucleus basalis. *Annals of Neurology* 1981; 10:122-126.
34. Albers HE, Lydic R, Gander PH and Moore-Ede MC. Role of the suprachiasmatic nuclei in the circadian timing system of the squirrel monkey: 1. The generation of rhythmicity. *Brain Research* 1984; 300:275-284.
35. Olds ME and Frey J. Effects of hypothalamic lesions on escape behavior produced by midbrain electrical stimulation. *American Journal of Physiology* 1971; 221:8-18.
36. Cohen RA and Albers HE. Disruption of human circadian and cognitive regulation following a discrete hypothalamic lesion: A case study. *Neurology* 1991; 41:726-729.
37. Moruzzi G and Magoun HW. Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1949; 1,455-473.
38. Groves PM and Thompson RF. Habituation: A dual process theory. *Psychological Review* 1970; 77:419-450.
39. Sokolov EN. Perception and the conditioned reflex. Oxford, Pergamon Press, 1963.
40. 이성훈. 정신계에 대한 열역학적 접근. *세브란스* 1977; 87-98.
41. 이성훈. 인간 자아의 단위. 연세 춘추사 1978, 10월30일.

42. 이성훈. 구조와 의식, 인간과 두뇌 현상의 통합적 이해 현상과 인식 1981; 5(1):195-223.
43. 이성훈. 정보의 보존성과 자유 의식, 신경 정신의학 1993; 32(3):301-308.
44. Miller R. Cotico-Hippocampal Interplay. Berlin, Springer-Verlag, 1991.
45. Crosson B. Subcortical Functions in Language and Memory. New York, The Guilford Press, 1992.
46. 이성훈. 정신 분열증에서의 정보처리와 그 신경해부학. 신경 정신의학 1991;30(4):629-65.
47. Lacey BC and Lacey JI. Two way communications between the heart and the brain. American Psychologist 1978; 33:99-113.
48. N t nen R, Gallard AWK, Varey CA. Attention effects on auditory EPs as a function of interstimulus interval. Biol Psychol 1981; 13:173-187.
49. Hansen JC, Hillyard SA. Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. Electroceph Clin Neurophysiol 1980; 49:277-290.
50. Hillyard SA and Munte TF. Selective attention to color and location: An analysis with event related potentials. Perception and Psychophysics 1984; 36:185-198.
51. Cohen RA, and O' Donnell BF. Physiological Substrates of attention. In The Neuropsychology of Attention ed by Cohen RA, New York, Plenum Press, 1993, 155-144.
52. 이성훈, 한은선, 이종섭, 유계준, 인지 기능과 사건관계 전위. 신경 정신의학 1990; 29(4): 779-787.
53. Johnson R Jr. A triarchic model of P300 amplitude. Psychophysiology 1986; 23:367-384.
54. 이성훈, 구애숙, 우종호, 최병건 사건 관계 전위와 신경 심리 검사. 수면-정신생리 1994; 1:76-86.