

억제적 통제 및 행동 감시간의 관계: 사건관련전위 연구

The Relationships between Inhibitory Control and Action Monitoring; Event-related Potential Study

강 승 석* 박 성 근** 하 태 현*** 노 규 식***
(Seung-Suk Kang) (Sung-Geun Park) (Tae-Hyun Ha) (Kyu-Sik No)
김 명 선**** 권 준 수***
(Myung-Sun Kim) (Jun-Soo Kwon)

요 약 본 연구는 집행기능의 범주에 속하는 행동적 억제(behavioral inhibition) 기능과 행동 감시(action monitoring) 기능의 공통점을 사건관련전위 요소 및 그 뇌 신경원 분석을 통해 비교 분석하였다. 피험자들에게 Go/NoGo 과제를 수행시키면서 측정, 분석한 사건관련전위인 N200 및 P300 요소는 NoGo 조건의 경우 전두엽 쪽에서 더욱 큰 진폭을 보였다는 점에서 NoGo 조건에서 요구되는 행동적 억제기능을 반영한다고 볼 수 있었다. 또한 전두엽 영역에서 오류반응 후에 관찰되는 부정 전위인 ERN이 정반응 이후 관찰되는 CRN에 비해 보다 큰 진폭과 빠른 잠재기를 보였다는 점에서 행동감시의 신호가 오류반응에 대해 보다 크게 요구되는 것이라 추론할 수 있었다. 행동적 억제의 지표인 NoGo 조건에서의 N200과 P300 요소의 잠재기와 행동감시의 지표인 ERN 요소의 진폭간에는 유의미한 부적상관이 발견되었는데, 이는 행동적 억제의 효율성이 높은 피험자일수록 행동감시의 정도 또한 크게 나타남을 시사하는 결과라 볼 수 있었다. 이러한 집행기능 지표들간의 관련성은 이들 사건관련전위 요소들의 신경원이 거의 유사한 위치인 전대상피질(anterior cingulate cortex)에서 나타난 뇌 신경원 국소화법 결과를 통해서도 지지되었으며, 이러한 결과를 전대상피질의 집행적 통제기능이라는 맥락에서 논의하였다.

주제어 집행기능, 억제적 통제, 행동 감시, 사건관련전위, 전대상피질

Abstracts The common features of the behavioral inhibition and the action monitoring that are considered as one of the executive functions were investigated using event-related brain potentials (ERPs) and source localization analysis. The electrophysiological correlates of behavioral inhibition and action monitoring are analyzed when the subjects performed the Go/NoGo task. Two ERP components of behavioral inhibition termed as N200 and P300 in NoGo condition were differ from those of Go condition, that is the amplitudes of NoGo N200 and P300 are largest on the fronto-central region, which may reflect the inhibitory control of frontal lobe required in NoGo condition. The error-related negativity (ERN) observed on the fronto-central region when the subjects committed error was much larger in amplitude and faster in latency than those of the correct-related negativity (CRN), which may indicate that the signal of action monitoring is much more required for the error

* 서울대학병원 임상의학연구소
Clinical Research Institute, Seoul National University Hospital
** 서울대학교 의과대학 정신과학교실
Department of Psychiatry, Seoul National University Medical School
*** 서울대학교 대학원 인지과학 협동과정
Interdisciplinary Program in Cognitive Science, Seoul National University

**** 성신여자대학교 심리학과
Department of Psychology, Sunshin Womans University
연구 세부분야 : 신경과학
주소 : 서울특별시 종로구 연건동 28
서울대학병원 정신과학교실, 110-744
전화번호 : (02) 760-2972
FAX : (02) 747-9063
E-mail : kwonjs@plaza.snu.ac.kr

response. The correlation analysis for the ERP components of behavioral inhibition and action monitoring revealed the significant negative correlation among the latencies of NoGo N200 and P300 and the amplitude of ERN, which may reflect that the faster subjects inhibit response, the more monitor their own action. The close relationship between behavioral inhibition and action monitoring was also supported by the results of source localization analysis, which showed the common neural sources of NoGo N200 and ERN was anterior cingulate cortex.

집행기능(Executive Function)은 행동의 통제, 추상적/개념적 사고의 수행, 인지적 추정(cognitive estimation), 새로운 상황에 대한 반응에서 인지적 유연성을 발휘하는 능력, 행동을 계획하는 능력 등을 모두 포함하는 포괄적 개념으로서[1], 목표지향적인 적응적 행동을 유지하는데 요구되는 제반 능력들이 이러한 집행기능에 기반하고 있다고 볼 수 있다. 인간의 가장 상위의 인지기능이라 볼 수 있는 이러한 집행기능은 본래 전두엽 손상 환자들이 보였던 증상들, 즉 운동이나 변화 등에 대한 저항, 시작된 행동을 멈추거나 변화시키는 것을 어려워 하는 증상, 또는 외부적 환경 자극에 따라 시작되는 자동적 반응을 억제하지 못하는 등의 행동적 문제들을 통해 개념화된 것이었다 [2],[3]. 실제로 뇌손상 환자 사례연구 및 신경심리검사 연구 결과 등을 통해 이러한 다양한 기능들을 수행하는데 있어 공통적으로 전두엽과 피질하 영역을 연결하는 회로가 중요한 역할을 담당하고 있다는 주장들이 제기되어 왔으며[4,5,6], 이러한 점에서 여러 집행기능들간의 관계가 시사되어왔다. Norman과 Shallice[7]는 그들의 주의 이론에서 이러한 여러 기능들을 집행적 통제(executive control)라는 통합적 개념을 통해 한데 묶어 설명하였는데, 집행적 통제란 반복 학습되어 자동화된 반응이 효과적이지 않을 때 요구되는 인지적 기능으로서, 의사결정, 갈등 해결, 오류 수정, 그리고 반응 억제 등이 필요한 상황에서 개입하여 적절한 행동적 반응을 가능케 하는 역할을 한다고 설명하였다. 그러나 집행기능은 그 개념이 매우 추상적이고 폭이 넓어 조작적 정의를 통한 측정이 어렵기 때문에, 그 하위 집행기능들간의 관계에 대해 실험적 검증을 통해 논의한 연구가 매우 부족한 상태이다. 따라서 조작적 정의와 측정이 용이하며, 하나의 실험적 연구를 통해 동시에 측정할 수 있는, 즉 동일한 발생맥락 속에서 측정 가능한 집행기능들간의 신경생리학적 지표들을 직접적으로 비교 분석하는 논의가 필요하다. 이러한 측면에서 행동억제(behavioral inhibition)와 자기감시(self-monitoring)라는 두 가지 집행기능들이 주목받을 만한데, 이들은 비교적 조작적 정의가 잘 되어 있으며, 실험적 통제에 따른 측정이 용이하여 이미 여러 선행연구

구들에서 집행기능의 대표적인 하위기능들로서 논의되어 왔기 때문이다.

중요한 집행기능 중 하나인 억제적 통제(Inhibitory control)는 기존의 자동적인 반응을 억제하고 목표지향적 행동을 수행하는데 필수적인 기능이다. 억제적 통제는 행동적 억제(behavioral inhibition)와 인지적 억제(cognitive inhibition)로 나뉘기도 하는데[8], 행동적 억제는 운동 억제, 충동적 반응 통제 등과 같이 외현적인 행동들을 통제하는 것을 말하며, 인지적 억제는 인지적인 내용과 처리 과정을 통제하는 의도적이고 의식적인 통제, 또는 의식적으로 인식할 수 없는 비의도적인 통제를 말한다. 그 중 행동적 억제는 환경적 변화에 대한 반응에 있어 한 행동에서 다른 행동으로 유연하게 넘어가는데 필요한 능력으로서, 자동적이거나 우세한 반응을 억제하고 목표 지향적인 행동을 지속시키는데 필요하다. 기능적 자기공명영상술(fMRI) 연구 결과에 따르면 이러한 억제적 통제에 관여하는 뇌 영역에는 안와전두피질(orbitofrontal cortex), 배외측 전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex), 하전두피질(inferior frontal cortex), 전대상피질(anterior cingulate cortex) 등이 모두 포함된다고 알려져 있다[9]. 사건관련전위(event-related potential; ERP) 연구들에서는 행동적 억제 기능을 연구하기 위해 주로 Go/NoGo 과제를 사용하였는데, 목표자극이 나오면 버튼을 누르는 Go 조건과 비목표 자극이 나오면 버튼 누르는 반응을 억제하는 NoGo 조건에서 발생하는 사건관련전위 요소들을 비교하였다[10, 11]. 그 결과 반응을 억제해야 하는 NoGo 조건에서 발생하는 두 가지 특징적인 전기생리학적 지표들이 관찰되었는데, 200ms 정도에 전두엽 쪽으로 치우쳐 나타나는 부정적 정점인 NoGo 조건의 N200 요소와 두정엽 쪽에서 최고치를 보이는 Go조건에서의 P300과는 달리 전두엽 쪽으로 치우쳐서 보다 높은 진폭을 보이는 정적 정점인 NoGo조건의 P300요소가 그것이었다. 선행연구들은 이러한 사건관련전위 요소들이 반응 억제와 이를 위한 집행적 통제에 관여하는 전두엽의 역할을 시사하는 것이라 해석하였다.

또 하나의 중요한 집행기능 중 하나인 행동 감시(action

monitoring)는 목표를 달성하기 위해 자신의 수행을 모니터링하고 평가하여 오류가 있는 경우 신호를 보내는 등의 기능을 통해 변화하는 환경 속에서 목표지향적 행동을 지속시키는데 중요한 역할을 한다. Gering 등[12]은 이러한 자기감시에 대한 모델로서 비교시스템(Comparative System)을 제안하였는데, 이는 환경적 요구에 따라 행동을 수정하기 위해 내적 기준과 환경적, 내적 자극(생각, 느낌 등), 행동 등을 비교하는 시스템을 말한다. 이 시스템은 내적 기준의 표상과 실제 행동과의 불일치(mismatch)가 탐지될 때 오류신호를 산출하고 인지적, 운동적, 정서적 시스템들에 주의를 환기시키는데, 사건관련전위 연구에서 발견되는 오류-관련 부정 전위(error-related negativity[ERN]; 오류 반응 후 약 100ms 이내에 발생)는 이러한 비교 시스템에서 발생하는 오류신호를 반영하는 것이라고 여겨져왔다. 여러 선행 연구들은 ERN 요소가 오류 반응을 한 이후에만 전두엽 영역에서 선택적으로 나타나며, 정반응 이후에는 그러한 부정 전위가 나타나지 않는다고 보고해 왔으나[13,14], 몇몇 연구들에서는 ERN 요소와 유사한 전두엽에서의 부정 전위가 정반응에서도 관찰된다고 보고하였다[15]. 정반응에서도 관찰되는 부정 전위(correct-related negativity[CRN])가 타당하게 측정된 사건관련전위인가에 대한 논쟁들도 있으나, ERN과 마찬가지로 반응 후 100ms 정도에 전두엽에서만 관찰된다는 공통점으로 미루어 볼 때, CRN 요소 또한 자기 행동의 적절성 여부를 지속적으로 관찰함으로써 목표지향적 행동을 유지시키는 행동 감시라는 집행기능의 전기생리적 지표 중 하나로 여겨질 수 있다고 보여진다.

지금까지 살펴본 행동적 억제와 자기감시와 같은 집행기능들간에는 전두엽이 개입되며 목표지향적 행동을 유지시키기 위해 작동하는 기능이라는 공통점 이외에 구체적인 기능적 관련성이라는 주제에 대해 실험적 검증과 논의를 진행한 경우는 별로 없다. 따라서 본 연구에서는 Go/NoGo라는 하나의 행동적 과제를 수행시키면서 조작적 정의를 통해 측정가능한 행동억제 및 자기감시 기능의 사건관련전위 요소들을 측정, 분석함으로써 이들 요소들이 선행연구들에서 주장되는 바와 같이 집행기능의 지표들이라 확인될 수 있는지를 검증해 보고, 이들 지표들의 상호관계에 대해 상관분석 및 그 발생의 해부학적 위치 확인을 통한 검증을 시도하였다. 이를 위해 본 연구에서는 사건관련전위(event-related potential: ERP)를 이용한 실험적 검증 방법론을 사용하였는데, 사건관련전위는 높은 시간해상력(time-resolution)을 지녔다는 점에서 뇌에서 처리되는 인지기능을 실시간으로 연구할 수 있다는 이점을 제공하므로, 짧은 인지적 과제를 수행하는 동안 일어

나는 행동적 억제 및 수행감시라는 두 집행기능의 전기생리학적 지표들간의 관계를 분석적으로 살펴보기에 적합하다. 또한 이들 집행기능의 지표가 되는 사건관련전위 요소들에 대해 계산적 알고리즘을 통한 분석을 거쳐 그 전기적 신호를 발생시킨 뇌 속 신경원들의 해부학적 위치를 확인할 수 있는 뇌 신경원 국소화법을 실시함으로써 전두엽의 여러 영역으로 추정되는 이들 집행기능들의 신경원을 높은 공간 해상력을 지닌 MRI 영상 속에서 살펴보고, 그 공통점을 해부학적 차원에서 검증해 보고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 피험자

서울 시내에 소재하는 모 대학과 대학원에 재학중인 학생 8(연령=26.13±2.01, 남자 4, 여자 4명)이 실험에 참여하였다. 이들은 이전에 간질, 뇌손상 등의 신경학적 장애 및 정신과적 장애가 없었다. 교정 시력은 1.0 이상이었으며, 모두 오른손 사용자들이었다.

2.2. 실험 자극 및 절차

두 종류의 시각적 자극이 컴퓨터 스크린에 제시되었다. 피험자들은 목표 자극이 되는 문자열(HSHH)이 나타나면 버튼을 누르고(Go 조건), 비목표 자극 문자열(SSHS)이 나타나면 버튼을 누르지 말라고 지시받았다(NoGo 조건). 모두 900 시행의 자극들이 제시되었는데, 목표 자극과 비목표자극은 50 : 50의 비율로 무작위 순서에 따라 제시되었다. 자극 제시 시간은 200 ms이었으며, 자극간 제시 간격(ISI)은 1500 ms이었다.

2.3. 뇌파 측정

뇌파(electroencephalography; EEG)는 피험자들의 머리에 128 채널의 뇌파 측정 전극이 부착되어 있는 quickcap을 착용시켜 측정하였는데, 이 전극 채널들은 뇌파측정 위치의 국제 표준체계인 10-20 체계에 따라 배열된 것이었다. Neuroscan(USA)사의 앰프 및 측정분석 프로그램을 통해 측정된 뇌파는 0.05-100Hz의 아날로그 bandpass를 통해 증폭시키고, 1초당 1000번의 비율(1000 sample/sec)로 디지털 신호화하여 기록하였다. 행동적 억제의 지표가 되는 Go/NoGo 과제의 사건관련전위의 경우 뇌파 측정 시간이 자극 제시 100 ms 전부터 자극 제시 후 1200 ms까지의 1300 ms이었으며, 자기감시의 지표가 되는 반응 관련 사건관련전위의 경우는 뇌파 측정 시간이 반응 200 ms 전부터 반응 후 600 ms까지의 800 ms이었다. 눈 깜박

임, 몸 움직임 등의 artifact로 인해 ± 50 ms 범위 밖의 진폭을 보인 시행은 자동적으로 폐기되어 최종 분석에서 제외되었다. 각 사건관련전위는 조건에 따른 평균파형(averaged waveform)을 계산하여 산출하였으며, 0.1-30 Hz의 cutoff 기준에 따라 필터링하였다.

2. 4. 뇌 신경원 국소화법(Source Localization)

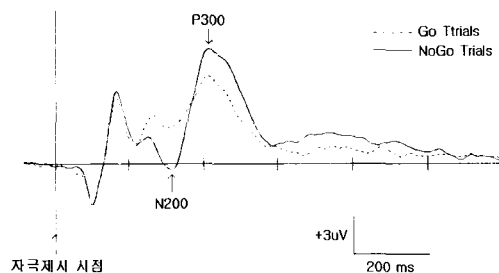
집행기능의 지표가 되는 사건관련전위 요소들을 산출한 신경원들의 해부학적 위치를 확인하기 위해 Neuroscan사의 Curry 프로그램을 이용하여 뇌 신경원 국소화법(source localization)을 시행하였다. 뇌 신경원 국소화법은 두피에서 측정된 표면전위를 야기시킨다고 여겨지는 신경원의 정확한 국소위치를 찾아내어 그 해부학적 영상을 얻어내고자 하는 방법론으로서, 하나의 발생위치와 방향성을 지닌 벡터로서의 사건관련전위의 뇌 신경원인 dipole을 신경원 모델(source model)과 머리 모델(head model) 계산 알고리즘을 통해 표준적인 MRI 뇌 영상 속에 위치시킬 수 있다. 본 연구에서는 사건관련전위 요소들의 dipole을 양반구에서 하나씩 찾아내는 mirror dipole model에 따른 뇌 신경원 국소화법을 시행함으로써, Go/NoGo 과제의 사건관련전위에서 NoGo N200, NoGo P300 요소의 신경원을, 그리고 반응관련 사건관련전위에서 ERN, CRN 요소의 신경원을 뇌 MRI 영상 속에 국소화시켰다.

3. 결과

3.1 행동적 억제

Go 및 NoGo 조건에서 측정된 8명의 사건관련전위를 전체평균(grand average)한 결과가 (그림 1)에 제시되어 있다.

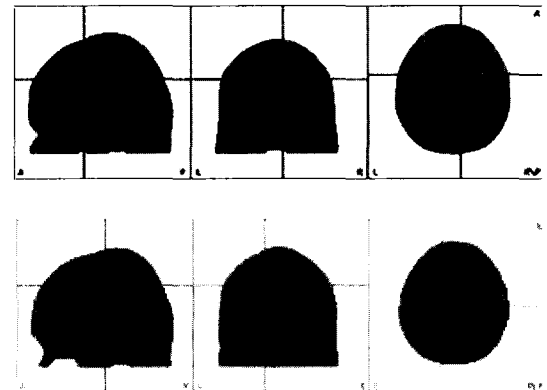
250-330ms의 time window에서의 부적 정점으로 정의한 N200 및 360-430ms의 time window에서의 정적 정점으로 정의한 P300 요소는 그림 1에서 알 수 있듯이 Go조건과



(그림 1) Fz(전두엽) 부위에서 측정된 Go, Nogo 조건에서의 사건관련전위의 전체 평균

NoGo 조건에서 모두 비슷한 잠재기에 발생하지만 그 진폭에 있어 차이가 남을 알 수 있다. 이에 대해 측정된 ERP 요소들의 진폭을 종속변인으로 하고, 조건(Go, NoGo) × 채널위치(Fz, FCz, Cz, Pz, Oz) × ERP 요소(N200, P300)를 독립변인으로 하는 반복측정 변량분석을 실시한 결과 3변인의 상호작용효과가 통계적으로 유의미하게 나타났다($F=35.258, p<.001$). 즉, 이는 조건에 따라 각 요소의 진폭이 위치별로 다르게 나타난다는 것을 시사하는 결과인데, N200 요소의 경우, Go조건보다 NoGo 조건에서 가장 큰 부적전위를 보이고, 그중에서도 Fz(frontal area)에서 가장 큰 진폭을 나타내었다. 또한 P300 요소의 경우는 Go조건에서는 Cz, Pz (centro-parietal area)에서 가장 큰 진폭을 보인 반면, NoGo조건에서는 FCz와 Fz(전두-중앙 위치)에서 가장 큰 진폭을 보였다.

NoGo 조건의 억제적 처리에만 관여하는 신경원의 해부학적 위치를 확인하기 위해 (그림 1)의 Go 파형에서 NoGo 파형을 뺀 새로운 ERP 파형을 만들었는데, 이 새로운 파형에서도 N200 및 P300 요소를 확인할 수 있었다. 이 각각의 사건관련전위 요소들을 산출한 신경원들의 해부학적 위치를 확인하기 위해 양 반구에서 뇌 신경원 국소화법(source localization)을 시행한 결과는 (그림 2)에 제시하였다. (그림 2)에서 확인되는 바와 같이, 행동적 억제의 신경생리적 신호인 N200요소를 발생시킨 해부학적 위치의 Talairach 좌표는 $x=6, y=15, z=32$ 로서, 배내측 전대상피질(dorsomedial anterior cingulate cortex)로 추정되며, P300 요소의 경우 ($x=-9, y=-13, z=49$)는 그보다 뒤쪽의 전중심회(pre-central gyrus)에서 발생됨을 확인할 수 있었다[16].

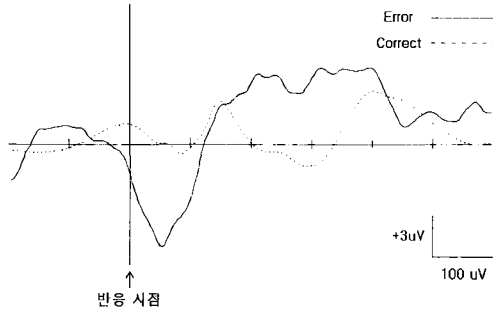


(그림 2) N200(위) 및 P300(아래) 요소를 산출한 신경원의 해부학적 위치

3.2. 행동 감시

행동감시의 사건관련전위상의 지표를 분석하기 위해

Go/NoGo 과제의 각 시행 반응 이후 약 30-100 ms 의 시간대에 나타나는 사건관련전위를 전체평균(grand average)한 결과가 (그림 3)에 제시되어 있다.



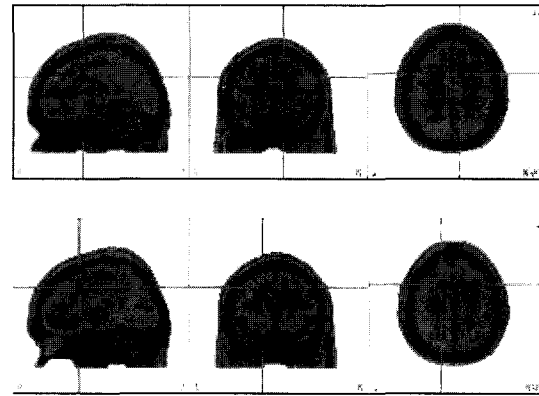
(그림 3) Fz(전두엽) 부위에서 측정된 반응관련 사건관련전위들

반응 이후 100ms 이내에 나타나는 부적 정점의 진폭을 종속변인으로 하고 반응유형(정반응, 오류반응) 및 채널 위치를 독립변인으로 하는 반복측정 변량분석을 실시한 결과, 반응 유형($F=22.178, p<.01$) 및 채널위치($F=7.040, p<.001$)의 주효과, 그리고 두 변인의 상호작용효과($F=15.146, p<.001$)가 통계적으로 유의미하였다. 즉, 반응 관련 부적 전위는 오류반응의 경우가 정반응의 경우보다 더욱 큰 진폭을 보이며, 오류반응의 경우(error-related negativity; ERN)는 FCz 위치에, 그리고 정반응의 경우(correct-related negativity; CRN)는 Fz에서 가장 크게 나타난다는 것을 알 수 있었다. 또한 반응관련 부적 정점의 잠재기를 종속변인으로 하여 반응유형 및 채널위치의 효과를 검증하는 2요인 반복측정 변량분석을 실시한 결과 반응유형의 주효과가 통계적으로 유의미하게 나타났는데($F=9.329, p<.018$), 이는 ERN이 CRN보다 빠르게 나타난다는 점을 시사한다.

ERN과 CRN을 산출하는 뇌 신경원, 즉 행동감시 기능을 담당하는 신경원의 해부학적 위치를 확인하기 위해 이들 요소들에 대한 dipole model에 따른 뇌 신경원 국소화 기법을 시행하였고 그 결과를 (그림 4)에 제시하였다.

(그림 4)에서 볼 수 있듯이 ERN ($x=6, y=16, z=34$)과 CRN($x=8, y=21, z=37$)은 거의 동일한 위치인 배내측 전대상피질(dorsomedial anterior cingulate cortex)에서 발생함을 확인할 수 있었다.

마지막으로 두 하위 집행기능들 간의 관련성 여부를 알아보기 위해 행동억제의 지표인 NoGo 조건의 N200 및 P300의 진폭과 잠재기, 그리고 행동감시의 지표인 ERN 및 CRN의 진폭과 잠재기라는 8개 변인들간의 상관분석



(그림 4) ERN(위) 및 CRN(아래)을 산출한 신경원의 해부학적 위치

을 실시하였다. 그 결과, NoGo N200의 잠재기와 ERN 진폭 간($r=-.707, p<.05$), NoGo P300 잠재기와 ERN 진폭 간($r=-.714, p<.05$), 그리고 ERN 진폭과 CRN 진폭 간($r=.827, p<.01$)에 통계적으로 유의미한 상관이 발견되었다.

4. 논의

Go 조건보다 NoGo 조건에서 N200 요소의 진폭이 더욱 크게 나타나며 그 최대진폭이 나타나는 위치가 전두엽 쪽이라는 사실은 행동적 억제를 요구하는 NoGo 조건에서 나타나는 N200요소가 전두엽이 개입하는 억제적 처리의 작용을 반영하는 것이라고 해석할 수 있다. 또한 P300 요소가 Go 조건에서는 두정엽 영역에서 최대 진폭을 보이는 반면, NoGo 조건에서는 전두엽 영역에서 최대 진폭을 나타낸다는 것은 두 조건에서의 P300 요소의 신경적 기원(neural source)이 다를 수 시사하며, 주로 전두엽 쪽으로 치우쳐서 나타나는 NoGo P300은 N200과 마찬가지로 전두엽의 행동적 억제처리를 위한 개입을 반영하는 것이라고 해석할 수 있다.

ERN 및 CRN의 진폭 및 잠재기에 대한 분석 결과, 오류 반응을 한 경우에 반응 100 ms 이내에 나타나는 부적 정점이 정반응을 한 경우에는 그 크기가 매우 작으며 발생시점 또한 늦게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 정반응보다는 오류반응을 한 경우에 자발적인 행동감시의 신호가 더욱 빠르고 크게 발생한다는 점을 시사해 주는 결과라 볼 수 있으며, 오류반응을 한 경우 그에 대해 탐지하고 주의를 환기시키는 행동 감시 기능의 필요성이 더욱 크다는 점을 반영하는 결과라고 해석할 수 있을 것이다.

각 사건관련전위 요소들의 조건간 비교를 통한 분석적

검증 결과, 조작적 정의대로 행동적 억제 지표라 확인될 수 있었던 NoGo 조건의 N200 및 P300 요소의 잠재기와 행동 감시의 지표임을 확인할 수 있었던 ERN 요소의 진폭간에 유의미한 부적상관이 나타났다는 것은, 행동적 억제를 위한 인지적 기능이 빠르게 작동하는 피험자일수록 행동 감시의 정도가 크게 나타난다는 점을 시사하는 것이라 볼 수 있다. 이는 행동적 억제 기능과 행동 감시 기능이 공통적인 뇌 기능에 의해 영향받는 것이라고 해석할 수 있는데, 이에 대해 보다 분명한 해부학적 증거를 찾기 위해 실시한 뇌 신경원 국소화법 결과도 이들 집행 기능들간에 밀접한 관계가 있음을 지지해 준다. 두 집행 기능의 전기생리학적 지표들을 발생시킨 뇌 신경원 영상인 그림 2, 4를 살펴보면, NoGo N200 및 ERN, CRN의 뇌 신경원이 매우 유사한 위치인 배내측 전대상피질(dorso-medial anterior cingulate cortex)에 존재함을 확인할 수 있었다. 수많은 기능적 뇌 영상연구들에서 밝혀진 바와 같이 전대상피질은 주로 적절한 행동반응을 선택해야 하므로 갈등이 존재하고, 이를 해결하기 위해 적절한 주의적 통제가 요구되는 과제에서 활성화된다고 알려져 있으며[17], Posner 등[18]은 Norman과 Shallice[7]가 말한 바와 같이 자동적 처리가 부적절해질 때 요구되는 집행적 통제(executive control)가 바로 전대상피질에 의해 이뤄진다고 설명하기도 하였다. 이런 선행연구들을 참고해 볼 때, 본 연구에서 행동적 억제와 행동 감시의 뇌 신경원이 거의 동일하게 내측 전대상피질(medial anterior cingulate cortex)로 나타났다는 것은 적절한 행동적 반응 선택을 위한 행동적 억제와 행동적 반응, 특히 오류 반응에 대한 감시 기능이 목표지향적 행동을 유지하고자 하는 공통적 맥락 속에서 요구되는 기능들이며, 여기에 요구되는 주의적 통제가 집행기능에 있어 중추적 역할을 담당하는 전대상피질에 의해 이뤄짐을 시사해 주는 것이라 해석할 수 있다. 의견상 보여지는 기능적 차이점에도 불구하고, 행동적 억제와 행동 감시 기능은 올바른 반응을 위한 내적 표상과 실제 자극 및 반응이 일치하지 않을 때 발생한다는 공통점을 지닌다. 즉, 행동적 억제는 올바른 행동적 반응을 유지하기 위해 정반응과 연합된 자극의 내적 표상과 실제 자극이 일치하지 않을 때에 발생하며, 행동 감시, 특히 오류 발생시에 두드러지는 오류 감시(error monitoring)는 자기 반응의 내적 표상과 실제 반응이 일치하지 않을 때 발생한다는 공통점을 가진다. 내적 표상과 실제 자극 및 반응의 불일치에 대한 감시가 요구되는 행동적 억제와 행동 감시 기능의 전기생리학적 지표들이 모두 전대상피질을 그 신경원으로 한다는 본 연구의 뇌 신경원 분석결과를, 불일치에 따른 갈등(conflict)이 발생

할 때 전대상피질이 그 갈등을 해결하는 집행적 통제의 역할을 담당한다는 Carter 등[19],[20]의 갈등해결 이론(conflict resolution theory)에 의해 잘 설명될 수 있다고 여겨진다.

그러나 기타 다른 여러 조건들에서 활성화를 보이는 전대상피질의 역할에 대해 현재 다양한 견해들이 분분하다는 점, 그리고 집행기능이라는 포괄적 개념에 대한 정확한 조작적 정의가 쉽지 않다는 점 등을 고려해 볼 때 해석상의 주의가 요구된다. 요컨대, 행동적 억제에 요구되는 운동 통제의 요소들을 보다 정교한 실험적 분석방법을 통해 분리해 내고, 인지적 억제 및 갈등 해결 등의 다양한 주의적 통제가 요구되는 여러 실험적 상황들 속에서 다른 집행기능들의 뇌생리학적 지표들 또한 함께 분석해 봄으로써 이들 지표들 각각의 특징 및 공통점 등을 종합적으로 논의해 보아야 할 것이다. 이러한 직접적 비교분석을 시도하는 다양한 실험연구들과 그에 대한 이론적 논의들을 통해 의견상 다르게 나타나지만 공통적인 인지적 기능을 공유하는 통합적 통제기능으로서의 집행기능에 대해 보다 포괄적이면서도 구체적인 논의가 가능해 질 것이다.

참고문헌

- [1]Banich, M. T. (1997) *Neuropsychology: The Neural Bases of Mental Function*, Boston, New York, Houghton Mifflin Company.
- [2]Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.
- [3]Lezak, M. D. (1983). *Neuropsychological assessment* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.
- [4]Milner, B. (1964) Some effects of frontal lobectomy in man. In J. M. Warren & K. Akert (Eds.), *Frontal granular cortex and behavior* (pp. 13-331). New York: McGraw-Hill.
- [5] Cummings, J. L. (1993) Frontal-subcortical circuits and human behavior. *Archives of Neurology*, 50, 873-880.
- [6]Dennis, M. (1991). Frontal lobe function in childhood and adolescence: A heuristic for assessing attention regulation, executive control, and the intentional states important for social discourse. *Developmental Neuropsychology*, 7(3), 327-358.
- [7]Norman, D. A., Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In

- Davidson R. J., Schwartz, G. E., Shapiro, D., editors. *Consciousness and Self-Regulation*. New York: Plenum Press, 1-18.
- [8] Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition: theories, definitions and research evidence. In: Dempster, F. N., Brainerd, C. J. (Eds.), *New Perspectives on Interference and Inhibition in Cognition*. Academic Press, San Diego.
- [9] Menon, V., Adelman, N. E., White, C. D., Glover, G. H., Reiss, A. L., (2001). Error-Related Brain Activation during a Go/NoGo Response Inhibition Task, *Human Brain Mapping*, 12, 131-143.
- [10] Hillyard, S.A., Courchesne, E., Krausz, H.T., Picton, T.W. (1976) Scalp topography of the P3 wave in different auditory decision task. In: W.C. McCallum, F. R. Knott (Eds), *The Responsive Brain*. Wright, Bristol, 81-87.
- [11] Kiefer, M., Marzinzik, F., Weisbrod, M., Scherg, M., Spitzer, M. (1998). The time course of brain activations during response inhibition: evidence from event-related potentials in a go/no go task. *Neuroreport* 9, 765-770.
- [12] Gering, W. J., Himle, J., Nisenson, L. G., (2000). Action-monitoring dysfunction in obsessive-compulsive disorder. *Psychological Science*, 11, 1-6.
- [13] Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., Blanke, L., (1990). Effects of errors in choice reaction tasks on the ERP under focused and divided attention. In: Brunia, C.H.M., Gaillard, A. W. K., Kok, A. (Eds.), *Psychophysiological Brain Research*. Tilburg University Press, Tilburg, The Netherlands, p.p. 192-195.
- [14] Gehring, W.J., Gross, B., Coles, M.G.H., Meyer, D.E., Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4, 385-390.
- [15] Luu, P., Flaisch, T., Tucker, D.M. (2000). Medial frontal cortex in action monitoring. *Journal of Neuroscience*, 20, 464-469.
- [16] Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotactic atals of the human brain*, 2nd ed. Stuttgart: Thieme.
- [17] Carter, C. S., Macdonald, A. M., Botvinick, M., Ross, L. L. Stenger V. A., Noll, D. (2000) Parsing executive processes: strategic versus evaluative functions of the anterior cingulate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97, 1944-1948.
- [18] Posner, M. I., DiGirolamo, G. J. (1998) Executive attention: conflict, target detection, and cognitive control. In: Parasuraman, R., editor. *The Attentive Brain*. Cambridge, MA: MIT Press, 401-423.
- [19] Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., and Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, 280, 747-749.
- [20] Carter, C. S., Botvinick, M. M., Cohen, J. D. (1999). The contribution of the anterior cingulate cortex to executive processes in cognition. *Rev. Neurosci*, 10, 49-57.