

선택적 주의 과제에서 과제난이도에 따른 청각 사건관련전위(Auditory Event-related Potentials:ERPs)의 변화

김상희, 김현택
고려대학교 심리학과

정보처리과정에서 주의 여부 및 과제난이도에 따라 사건관련전위(Event-Related Potential:ERP)가 어떻게 달라지는지를 청각양상에서 연구하였다. 피험자는 이어폰을 착용하고 지정한 쪽의 귀에 들리는 소리 자극에 주의를 두라고 지시받았다. 피험자의 과제는 주의를 둔 귀에 들리는 소리중 음고(pitch)가 높은 일탈 자극에 대해서 반응버튼을 누르는 것이다. 이 때 처리부하는 표준 자극과 일탈 자극간 변별과제 난이도 수준으로 조작하였다. 쉬운 과제에서 표준 자극은 1000Hz, 60dB SPL이었고 일탈 자극은 1500Hz, 60dB SPL이었다. 어려운 과제에서 표준 자극은 쉬운 과제와 같았으며, 일탈 자극은 1050Hz, 60dB SPL이었다. 행동반응 결과 어려운 과제조건에서보다 쉬운 과제 조건에서 수행이 더 정확하였고 반응시간이 더 빨랐다. 따라서 처리부하수준의 차이가 적절하였음을 알 수 있다. ERP상에서는 표준 자극에 대한 주의효과가 자극이 제시되고 난 120msec후부터 나타났다(Fz). 일탈 자극에 대한 주의 효과는 Pz에서 P2잠재기 이후부터 유의미하였다. 과제난이도효과는 Pz에서 P3b잠재기 영역이후부터 유의미하였다. 따라서 처리부하는 청각정보처리의 후기단계에 영향을 미친다고 결론내릴 수 있다. 또한 물리적 속성처리과정을 반영하는 N1요소의 진폭과 잠재기는 주의여부에 따라 차이가 없었으므로 청각 자극의 물리적 속성을 분석하는 처리는 주의와 무관한 자동처리라는 것을 추론할 수 있다.

¹⁾쉬운 과제에 비해 어려운 과제를 수행하기 위해서는 더 많은 노력이 필요하다. 과제수행에 필요한 정신적 노력(mental effort)을 기술할 때 인지적 부하(cognitive load)라는 용어를 사용한다. 부하(load)란 주의 자원에 대한 요구를

반영한다(Britton & Tesser, 1982; Kahneman, 1973; Navon & Gopher, 1979). 따라서 인지적 부하가 높은 어려운 과제를 수행하기 위해서는 더 많은 주의가 요구될 수 있다. 하지만 이러한 가설은 검증하기가 용이하

1) ERP수집 프로그램과 하드웨어를 제작해 준 김병훈에게 감사한다.

지 않은데 그것은 주의를 직접적으로 측정하기가 쉽지 않기 때문이다. 근래에 주의를 양화하는 기술이 발달함에 따라 이러한 문제점을 다소 해소하게 되었다. Hillyard, Hink, Schwent와 Picton(1973)은 주의와 관련된 사상관련전위(Event-Related Potentials: ERPs)요소를 분리하였다. 그들은 청각자극을 피험자들의 양쪽 귀에 양분적으로 빠르게 제시하고 한쪽 귀에만 주의를 두게 하였다. 제시되는 자극은 표준자극과 일탈자극으로 구성되었는데 그것들은 음고(pitch)가 달랐으며 일탈자극의 제시빈도가 표준자극보다 낮았다. 피험자의 과제는 주의를 둔 귀에 제시되는 일탈자극의 수를 세어 보고하는 것이었다. ERP기록결과 주의를 둔 쪽의 일탈자극이 비주의 입력의 일탈자극보다 더 부정전위(negativity)를 띠었다. 그들은 주의자극과 비주의 자극간 발생하는 전위의 차이를 부정차이(Negative Difference: Nd)라 명명하였다. 부정차이는 일탈자극과 표준자극에서 모두 관찰되었다. Nd는 두 부분으로 구성된다. Nd의 초기 부분은 자극제시 후 약 60-70msec에서 시작되어 약 100msec에서 정점을 이루고 Nd의 후기 부분은 이후 수 백 밀리세컨드까지 지속된다. 이전 연구에서는 초기Nd가 주의처리에 의해 N1요소의 진폭이 증가된 것을 반영한다고 주장하였는데, 이는 초기 Nd의 잠재기가 자극의 물리적 속성을 처리한다고 인식되고 있는 N1요소와 시간적으로 겹쳐졌기 때문이다(Hillyard 등, 1973). 이 후 보다 느린 자극간 간격을 사용하여 피험자의 과제부하를 줄였을 때 Nd의 진폭변화나 두피분포가 N1과는 별개라는 연구결과가 보고되었다(Näätänen & Michie, 1979; Näätänen, Teder, Alho, & Lavikainen, 1992; Teder, Alho, Lavikainen, & Näätänen, 1993; Woods, Alho, & Algazi, 1994). 따라서 Näätänen(1990, 1992)은 초기 Nd는 N1과는 발생기전이 다른 부정처리(processing negativity: PN)라는 내인적(endogenous) 주의-관련 요소의 활동을 반영한다고 주장하였다. 이러한 주장은 주의를 공간이나 음정등 자극의

물리적 속성처리를 통제하는 것이 아니라 보다 고차원적 처리과정에 관여하는 것임을 추론하게 한다. Näätänen(1990)은 PN가 유입되는 감각 정보와 주의자취(attentional trace)간의 정합처리(matching process)를 반영한다고 하였다. 여기서 주의자취란 주의를 주어진 자극에 대한 내적표상을 의미한다. 그에 따르면 정합처리가 일어나고 있는 시간이 길수록 PN의 진폭이 크고 활동시간(duration)도 길다. 따라서 주의 자극에 대한 PN은 진폭이 크고 활동시간도 길며 비주의 자극에 대한 PN은 진폭이 작고 활동시간도 짧은 것이다. 이러한 PN들간의 차이가 Nd이다. Nd와 PN은 주의효과를 평가하는 데 공동적으로 사용된다.(Näätänen & Picton, 1987). 그 이유는 둘 다 자극에 대한 주의와 비주의 조건간 ERP의 차로 구하기 때문이다(안한숙, 1995; Näätänen & Picton, 1987; Wordorff & Hillyard, 1991; Alho, Woods, Algazi, & Näätänen, 1992). 그러나 엄연히 두 개념의 의미는 다르다. 즉, Nd는 주의유무에 의해서 생기는 ERP의 물리적 차이를 의미할 때 언급되며, PN은 그러한 Nd를 유발하는 뇌 회로내의 내인적 요소의 존재를 내포한다.

Alho, Woods, Algazi, 와 Näätänen(1992)은 초점화된 주의를 처리부하에 따라 어떻게 달라지는가를 연구하였다. 그들은 피험자에게 목표 자극 변별의 난이도가 다른 청각, 시각 과제를 동시에 제시하고 한 감각양상에 선택적 주의를 두게 하였다. 청각자극에 대한 Nd가 110-130msec의 잠재기를 가지고 나타났으며 쉬운과제를 수행할 때보다 난이도가 높은 어려운 과제를 수행하는 동안 진폭이 더 증가하였다. 그는 이 결과에 근거하여 난이도가 커지면 즉, 처리부하가 증가하면 주의를 더 많이 개입된다고 주장하였다. 그러나 감각양상간(intermodal) 주의에서는 분할주의(divided attention)가 가능하므로 비주의 조건과 주의조건의 구별이 모호하다. 물론 그들은 빠른 200-400msec의 무선 ISI를 사용하여 초점화된 주의를 유발하고자 하였으나 빠른 ISI조건에서는 한 자극에 대한 독립

적인 ERP표집이 불가능하다는 지적이 있었다 (Wordorff, 1993:). 또한 자극에 대한 부하가 커져서 주의효과가 빨리 나타나므로 Nd의 잠재기가 빨라져서 N1요소의 잠재기와 중첩되는 문제도 있다(Teder, Alho, Lavikainen, & Näätänen, 1993). 실제로 Alho등(1992)의 실험결과 N1과 Nd의 잠재기가 중복되어 나타났다. 따라서 어려운 과제조건에서 활동이 증가한 Nd가 N1요소의 증가를 반영하는 지 혹은 주의 관련 내인적 활동(PN)의 증가를 반영하는 지에 대해서는 불투명하다. 또한 주의효과는 110-130msec부터 나타나는데, 정보처리상에서 더 긴 잠재기를 가지고 나타나는 일탈정보를 제공하는 불일치부적과(Mismatch Negativity: MMN)가 자동적이라는 주장은 납득하기 어렵다.

본 연구는 Alho(1992)등의 연구를 개선하여 선택적 주의조건에서 과제난이도가 주의과정에 어떤 영향을 미치는가를 ERP기록을 통하여 살펴본 것이다. ERP요소의 시행간 중복을 피하기 위하여 비교적 길되 피험자의 주의를 놓치지 않을 정도의 시간간격인 680-980msec의 무선 ISI를 사용하고 초점화된 주의를 유지하기 위하여 감각양상내(intramodal) 자극을 간섭입력으로 설정하였다. 인지적 부하가 높은 과제 즉, 어려운 과제를 수행할 때 더 많은 주의가 개입한다면 그것은 N1요소와는 별개로 Nd의 진폭과 잠재기의 변화로서 반영될 것이다.

연구방법

1. 피험자

피험자는 서울시내 K 대학에 재학중인 18-26세의 학생 27명으로 약물중독이나 신경학적 이상이 없는 여자 10명, 남자 17명으로 구성되었다. 이들의 평균나이는 23세였고 모두 오른손잡이였다. 피험자 중 3명은 EEG수집횟수가 20회 미만이었으므로 자료처리에서 제외하였다. 따라서 총 분석에 들어간 피험자의 수는 여자 9명, 남자 15명으로 총 24명이다.

2. 자극 및 절차

실험은 전기적으로 차폐된 방음실에서 진행되었다. 우선 피험자를 의자에 앉힌 후 나이와 신경학적 장애의 유무를 묻는 설문지를 작성하게 하였다. 피험자의 긴장을 풀어주기 위하여 EEG 기록의 안전성과 실험절차에 관한 설명을 간략하게 하였다. 턱받침(chin rest)을 피험자의 앉은 키에 맞게 조정된 후 턱을 턱받침(chin rest)에 가볍게 얹게 하고 두피와 이마, 귓볼에 전극을 부착하였다. 피험자는 이어폰을 착용하고 청각자극을 제시받았다. 피험자의 과제는 지시받은 쪽귀에 주의를 뒤서 일탈자극이 제시될 때마다 동측의 손으로, 동측의 반응버튼을 누르는 것이었다. 피험자에게 제시하는 청각자극은 사운드 블라스터로 만든 1000Hz, 1050Hz, 1500Hz 정현파였으며 이어폰으로 제시하였다. 표준자극은 1000Hz였으며, 일탈자극은 쉬운 과제에서는 1500Hz를 제시하였고, 어려운 과제에서는 1050Hz를 제시하였다. 자극 제시시간은 80msec였으며 자극간 간격(ISI)은 680-980msec로 무선적으로 변화시켰다. 각 자극의 강도는 피험자 스스로 잘 들리는 정도로 조절하게 하였다. 자극은 총 4개의 구간(block)을 통해 제시되며 각 구간은 400회의 시행으로 구성되었다. 표준자극의 제시빈도는 80%이고 일탈자극은 20%였다. 각 구간은 "쉬운 과제-왼쪽 귀 주의", "쉬운 과제-오른쪽 귀 주의", "어려운 과제-왼쪽 귀 주의", "어려운 과제-오른쪽 귀 주의"로 구성하였다. 피험자는 본시행을 하기 전에 50회의 연습시행을 수행하였으며 50%이상의 정확률을 보일 때까지 연습시행을 계속하였다. 각 구간은 피험자당 ABBA로 역균형화하여 제시하였다. 실험 전반에 걸쳐 백색잡음을 피험자로부터 1m 떨어진 외부 스피커를 이용하여 제시하였다. 백색잡음의 강도는 피험자의 위치에서 측정하였을 때 60dB였다.

3. 뇌전도(EEG) 기록

EEG는 폴리그래프(GRASS 모델 No.12)를 이용하여, 5개의 채널에서 금 도금 전극으로 기

록하였다. 전극 부착 부위는 국제표준 규격인 10-20시스템에 따라 Fz, Cz, Pz, C3, C4에 부착하였다. 안전도(EOG)는 눈썹 위 0.5mm이내에서 기록하였다. 기준전극(reference)은 의도적으로 피험자수의 반은 왼쪽 귓볼에 부착하고 반은 오른쪽 귓볼에 부착하였다. 이는 기준전극의 위치가 다름에 의해서 발생할지 모르는 잡음을 최소화하기 위해서이다.

EEG기록시간(epoch)은 자극전 120msec를 포함하여 800msec였다. 신호 표집율(sampling rate)은 4msec로 하였다. 자극 전 120msec동안 얻어진 값을 기저선(baseline)으로 하여 ERP값이 산출되었다. 전극 임피던스는 5K Ω 으로 유지하였다. 정반응(hit)한 자극과 정기가각(corrected reject)한 자극의 EEG만을 받아서, 1-30Hz로 대역여파(bandpass filtering)한 후 100만배 증폭하여 온라인(on-line)으로 평균하였다. 평균화 기법은 신호와 무관한 잡음을 소거하기 위한 것으로, 각 시행에서 얻은 청각자극에 대한 EEG값들을 평균한다. 즉, 평균화를 통해서 자극에 시간매김(time-locked)된 신호는 보존되고 그렇지 않은 무선잡음은 상쇄된다. 한 구간당 다음의 네 개의 자극 즉, 주의 일탈자극, 주의 표준자극, 무시 표준자극, 무시 일탈자극에 대하여 5개의 전극위치에서 각각 ERP의 디지털값이 산출되어 파일에 기록되었다. EOG가 기준값보다 높게 나온 시행은 기각하고 평균화(averaging)하였다. 기준값은 상위 +2 μ V, 하위 -2 μ V로 잡았다. 이 값은 안구의 움직임이 EEG에 영향을 주지 않는 범위값으로 예비실험을 통하여 정하였다. 수집된 시행 횟수가 20회 미만인 피험자의 ERP자료는 무선 잡음이 적절하게 소거되었다고 볼 수 없으므로 이후 분석에서 제외하였다. 오프라인(off-line)으로 주의를 들은 자극에 대한 ERP에서 무시한 자극에 대한 ERP를 빼서 Nd를 얻었다.

4. 자료분석

ERP의 진폭을 자극제시 후 40msec 이후부터 400msec까지 40msec씩 분할하여 평균 진

폭을 계산하였다. 창분할 법은 최근 들어 쓰이기 시작한 것으로 ERP요소가 위치한 시간대의 평균진폭을 분석하는 것이다. 이 방법은 ERP요소의 잠재기가 피험자간 혹은 조건간 비교적 일치할 경우 정보의 손실을 최소화하며 또한 자료처리가 용이하다. 각 자극(표준자극, 일탈자극)과 위치(Fz, Cz, Pz, C3, C4)에 대하여, 과제, 주의, 귀를 독립변인으로 하고 평균진폭을 종속변인으로 하여 삼원 반복측정 변량분석하였다. 일탈자극에 대하여 자극제시 후 1000msec이내에 정확하게 반응한 경우를 "정반응"으로 기록하였다. 정반응의 횟수와 그에 대한 평균 반응시간(RT)을 계산하여 파일에 저장하여 과제, 귀를 요인으로 이원변량분석하였다.

결 과

1. 행동수행

피험자들의 행동 수행을 정반응의 정확율과 반응시간으로 나누어 분석하였다.

<표1> 과제와 자극제시방향(귀)에 따른 과제수행의 시간 정확률 및 반응

		정확률(%)	반응시간(msec)
쉬운 과제	왼쪽 주의	83(12)	621(61)
	오른쪽 주의	82(14)	586(47)
어려운 과제	왼쪽 주의	76(16)	642(40)
	오른쪽 주의	71(20)	619(45)

()안은 표준 편차

정확률은 [정반응/(정반응+오경보)]으로 계산하였고 각 개인의 반응시간은 정반응에 대한 것만을 평균하여 구하였다. 각 조건에서의 정확률과 반응시간을 표1에 제시하였다. 쉬운 과제에서 수행의 정확률은 82%였으며, 평균 반응시간은 596msec였다. 어려운 과제에서는 각각 73%와

622msec였다. 왼쪽에 제시한 자극에 대한 정확률은 79%였으며, 반응시간은 632msec였다. 오른쪽에 제시한 자극에 대해서는 각각 77%와 603msec였다.

수행의 정확률을 과제와 자극제시방향(귀)에 대해 반복측정 이원변량분석하였다. 과제주효과는 유의미하였으나($F[1,23]=11.14, P<.01$), 자극제시방향(귀)효과는 무의미하였다. 쉬운과제의 정확률이 더 높았다. 상호작용효과는 없었다. 반응시간을 과제와 자극제시방향을 요인으로 반복측정 이원변량분석하였다. 두 요인에 대한 주효과가 모두 유의미하였다(과제: $F[1,23]=19.27, P<.01$; 자극제시방향: $F[1,23]=25.23, P<.01$). 상호작용효과는 없었다.

쉬운과제의 반응시간이 어려운 과제에서의 반응시간보다 더 짧았다. 피험자 전원이 오른손잡이였는데, 기대했던 대로 오른쪽주의 조건에서의 반응시간이 왼쪽주의 조건에서의 반응시간보다 유의미하게 짧았다($F[1,23]=25.23, P<.0001$).

특이한 점은 쉬운과제-왼쪽 주의조건에서의 반응시간이 어려운 과제-오른쪽 귀 주의조건에서의 반응시간보다 느렸다.

2. ERP결과 분석

본 실험에서 얻은 전체 ERP파형을 그림1-5에 제시하였다. 주의 조건의 비교를 돕기 위하여 ERP파형을 과제, 자극에 대하여 주의조건의 파형과 비주의조건의 파형을 함께 제시하였다.

자극제시후 약 100msec경에 출현하는 부정전위를 N1으로 정의하였다. N1의 진폭은 Fz에서 가장 컸다. N1에 이어 연속적으로 나타나는 정적 전위를 P2로 정의하였다. P2의 평균 잠재기는 188msec였으며 Cz에서 가장 큰값을 가졌다. 일탈자극에 대한 ERP파형에서 228msec의 평균 잠재기에서 나타나는 부정전위를 N2로 정의하였다. 일탈자극에서 N2이후 처음으로 약 300msec의 평균 잠재기를 가지고 나타나는 정적 전위를 P3a라고 정의하고 320-400msec사

<표2> 통계 분석 결과 요약

변량원	자유도	시간영역(ms)	유의 확률값
가) 표준자극의 ERP평균진폭에 대한 삼원 변량분석의 유의미수준			
주의(Fz)	(1,23)	120-280	($p<.0002$) -- ($p<.0001$)
(Cz)	(1,23)	120-240	($p<.005$) -- ($p<.0001$)
		280-320	($p<.05$)
		360-400	($p<.02$)
나) 일탈자극의 ERP평균진폭에 대한 삼원 변량분석의 유의미수준			
과제(Fz)	(1,23)	200-240	($p<.05$)
(Cz)	(1,23)	200-240	($p<.025$)
		320-400	($p<.05$)
(Pz)	(1,23)	320-400	($p<.02$) -- ($p<.01$)
주의(Cz)	(1,23)	200-240	($p<.03$)
		280-400	($p<.01$) -- ($p<.001$)
(Pz)	(1,23)	240-400	($p<.002$) -- ($p<.001$)
과제*귀 (Cz)	(1,23)	160-200	($p<.05$)

(모든 분석의 단위는 40msec다. 통계적으로 유의미한 차이 연속적일 경우 한꺼번에 나타내었다.)

이에 나타나는 가장 정적인 파를 P3b(또는 P3)라 정의하였다.

1) 표준자극에 대한 ERP 평균진폭분석

표준자극에 대하여 각 조건에서 얻은 전체 평균 ERP파형을 그림1-그림2에 각각 제시하였다. 표준자극에 대한 ERP의 영역별 평균진폭에 대해 과제, 주의, 귀를 요인으로 반복측정 삼원변량분석하였다(표2).

N1은 Fz에서 가장 큰 진폭을 가졌다($-3.7\mu V$). P2는 Cz에서 가장 큰 값을 가졌다($3\mu V$). 주의 주효과가 유의미하였다. 과제 주효과와 귀 주효과 및 상호작용 효과는 없었다. 주의 효과는 Fz, Cz에서 120msec시간간 이후부터 관찰되었고 Pz에서는 40-80 msec영역에서도 유의미하였다($F(1,23)=6.69 P<.02$). N1 잠재기 영역

(80-120msec)에서는 주의효과가 무의미하였다. 이 결과는 이전 연구들과 일치한다(Näätänen, Teder, Alho, & Lavikainen, 1992; Teder, Alho, Lavikainen, & Näätänen, 1993; Woods, Alho, & Algazi, 1994).

감각양상간(intermodal)자극에 대한 주의 효과를 연구한 Alho등(1992)의 연구에서는 N1 영역과 P2영역에서 주의입력에 들어온 자극이 더 큰 진폭을 가졌으나, 감각양상내(intra-modal) 자극을 사용한 본 실험에서는 N1영역에서 주의효과가 없었고, P2영역(160-180msec)에서 비주의 조건에서의 진폭이 더 컸다. 자극 제시 이후 280msec이전에 관찰된 주의효과는, 각 조건에서 제시된 자극에 대하여 주의를 두었을 때 더 부정(negativity)이었으나, 280msec 이후에는 더 정적(positivity)이었다. 주의 효과

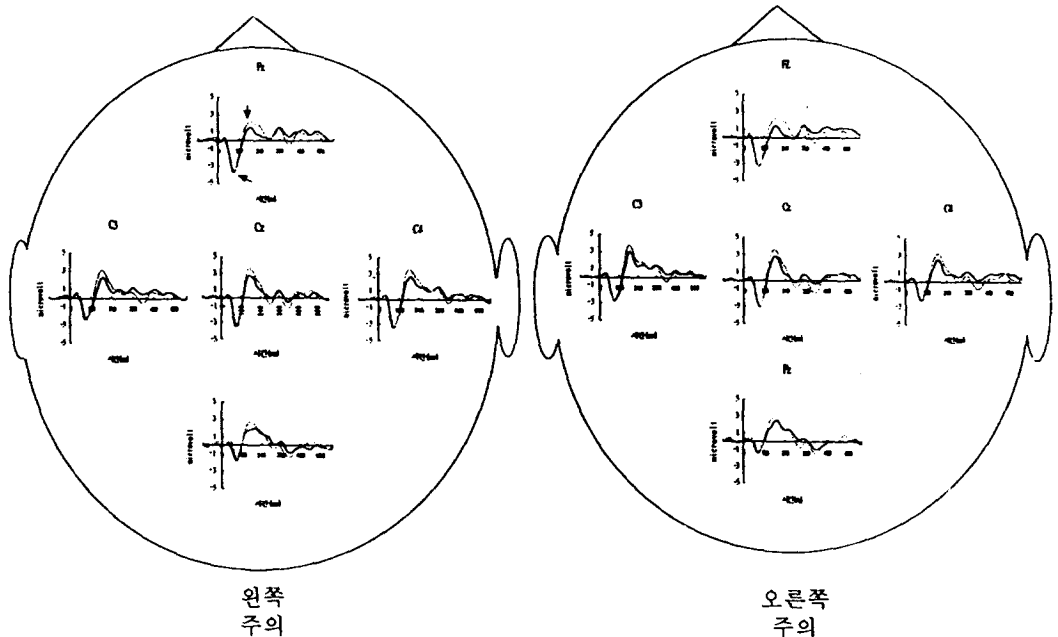


그림 1. 쉬운과제 조건에서의 표준자극에 대한 전체평균 ERP 파형 두피의 전극부위위치에 따라 그림을 배치하였다. 화살표는 순서대로 N1, P2요소를 나타낸다. 진한선은 주의 조건의 파형이며 연한선은 비주의 조건의 파형이다. 시간축의 단위는 120msec이며 세로축의 단위는 $2\mu V$ 이다.

가 명백히 관찰되었으므로, 주의 입력에 들어온 자극에 대한 뇌 처리가 비주의 입력의 자극에 대한 뇌처리와는 명백히 다르다고 추론할 수 있다. 주의 조건에서의 ERP와 비주의 조건에서의 ERP의 차로써 부적차이파(Negative difference: Nd)를 구했다(그림 3). 부적차이파(Nd)는 평균 100msec의 잠재기를 가지고 나타나기 시작하여 240msec의 평균잠재기에서 정점을 이루었다. Nd의 진폭은 Fz에서 가장 컸다. 부적차이(Nd)에 대하여 과제, 귀를 요인으로 하여 각 위치에서 반복측정 변량분석하였다. 과제 주효과는 없었다. Fz에서, 왼쪽에 제시한 자극에서 산출된 Nd보다 오른쪽에 제시한 자극에 대한 Nd의 평균진폭이 더 컸으나 통계적으로는 의미있는 차가 없었다($F(1,23)=3.40, P<.08$).

2) 반구 비대칭성효과

표준자극의 처리에 반구간 비대칭성이 있는지 알아보기 위하여 과제, 반구(C3/C4), 귀를 요인으로 하여 ERP평균진폭에 대하여 반복측정 삼

원변량분석 하였다. 과제 주효과는 없었다. 전체 분석영역(80-400msec)에서 귀와 반구간 상호작용이 유의미하게 관찰되었다($13.47 <F(1,23)< 29.45, P<.0001$). 즉, 자극입력방향의 대측반구에서 ERP의 평균진폭이 더 컸다(그림1-그림 2). 자극 제시 후 160msec까지는 대측의 진폭이 더 부적이었고, 160msec이후에는 대측반구의 반응이 더 정적이었다. 이는 기존의 연구결과와 일치한다. 자극 입력의 대측반구에서 ERP의 평균진폭이 더 큰 것은 청각정보의 표상에 관련된 신경원의 3분의 2가 대측반구로 들어가기 때문이다(Rosenzweig, 1951).

Nd의 평균진폭을 C3과 C4의 위치에서 귀*위치 변량분석하였다. 40-80msec에서 C4의 진폭이 유의미하게 컸다($F(1,23)=7.93, P<.01$). 240-280msec의 창에서 귀*위치 상호작용효과가 있었다($F(1,23)=6.14, P<.05$). 즉, 왼쪽에 제시한 자극의 경우 오른쪽 반구의 평균진폭이 더 부적이었고, 오른쪽에 제시한 자극은 왼쪽반구의 평균진폭이 더 부적이었다.

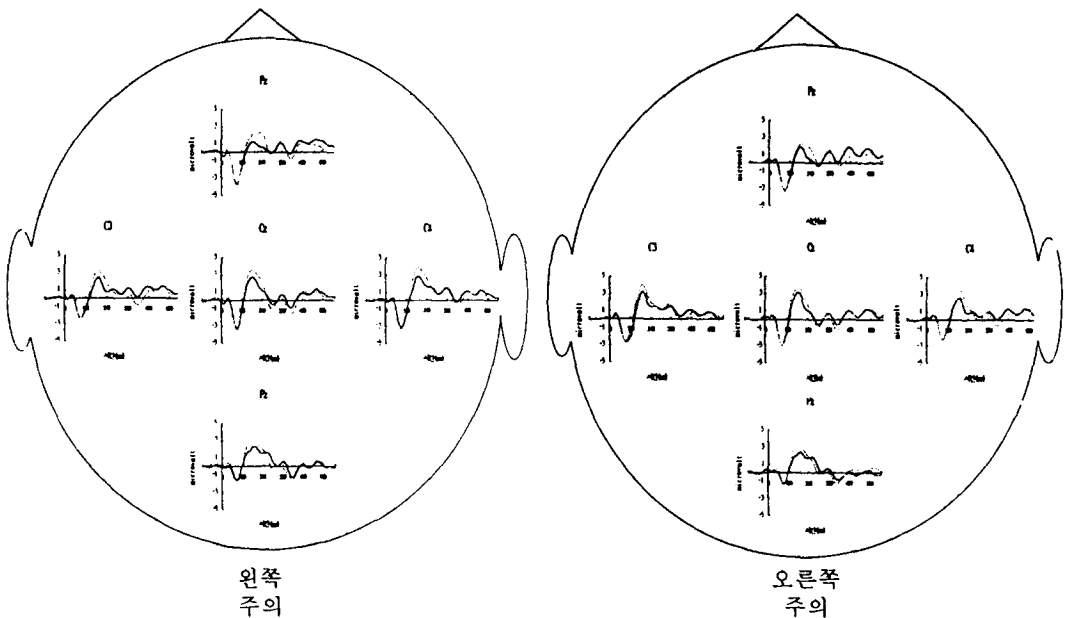


그림 2. 어려운 과제조건에서의 표준자극에 대한 전체평균 ERP파형

3) 일탈자극에 대한 ERP 평균진폭분석

일탈자극에 대한 전체 평균 ERP파형을 그림 4-5에 제시하였다. 주의 조건에서 N2-P3a파가 관찰되었다. P3b(P3)의 정점진폭은 Pz에서 가장 컸다. 쉬운과제 조건에서보다 어려운 과제 조건에서 P3b의 진폭이 더 작았으며 잠재기는 더 길었다.

일탈자극의 평균진폭에 대한 변량분석결과를 표2에 제시하였다. 표준자극과는 달리 N1영역(80-120msec)과 P2영역(160-200msec)에서는 의효과가 관찰되지 않은 반면, N2와 P3영역에서 주의효과가 나타났다. 과제 효과를 보면, Fz, Cz의 N2영역(200-240msec)에서 쉬운과제가 유의미하게 부적의 평균진폭값을 가졌다(표2참고). Cz와 Pz에서는 P3b영역(320-400msec)에서 쉬운과제의 평균진폭이 어려운 과제의 평균진폭보다 유의미하게 컸다(표2 참고).

주의 효과는 N2이후에 Cz와 Pz에서 관찰되었다(표2참고). 일탈자극에 대한 Nd는 분석하지 않았다. 그 이유는 두 과제에서 사용된 자극의

속성이 다르기 때문이다.

논 의

1. 행동측정결과

행동수행을 분석한 결과 정확률과 반응시간이 과제조건에 따라 유의미한 차이를 나타내었다. 이는 피험자들이 각 과제조건에 대해 다른 처리를 할 가능성이 있음을 나타내는 것이다. 그런데 여기서 주목할 만한 것은 쉬운과제에서의 반응시간이 어려운 과제에 비해 유의미하게 짧았음에도 불구하고 쉬운과제-왼쪽주의조건에서 왼쪽손의 반응시간이 어려운 과제-오른쪽주의 조건에서 오른손의 반응시간보다 길었다는 사실이다. 그림4-5에 제시한 전체 ERP파형을 보면 자극평가나 반응선택에 관여한다고 알려진 P3b의 정점잠재기는 왼쪽주의와 오른쪽주의조건에서 다르지 않다. 따라서 두 조건사이의 반응시간 차이는 입력정보의 처리잠재기 차이가 아니라 운동정보가 말초로 내려오면서 실행되기까지의 차이라고 할

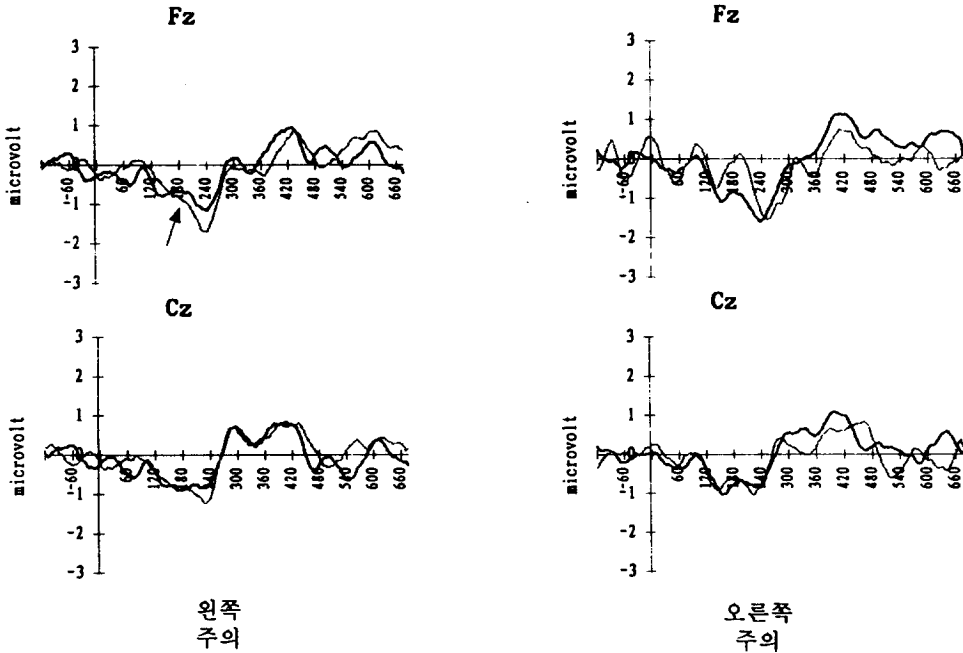


그림3. 표준 자극에 대한 부적차이파(Nd)

화살표로 Nd를 나타내었다. 진한 선이 쉬운과제 조건이며 연한선이 어려운과제 조건이다.

수 있겠다. 이 결과는 뇌의 실제적인 정보처리과정을 행동적 반응시간으로 유추하는 것보다 ERP법으로 측정하는 것이 더 정확할 수 있다는 것을 시사한다.

2. ERP분석결과

주의조건간 표준자극에 대한 뇌 처리가 약 120msec경에서부터 달랐다. 이 사실은 자극처리과정상에서 주의가 개입하는 시점이 물리적 속성처리가 일어나고 난 후라는 것을 나타낸다. 주의효과인 PN을 반영하는 Nd는 Fz에서 두드러졌다. 이는 전두엽이 주의과정에 중심적인 역할을 한다는 기존의 연구들을 지지한다(Cohen, Sparing-Cohen, & O'Donnell, 1993)

본 실험에서는 Nd의 잠재기가 N1의 잠재기와 분리되었다. Nd를 산출하는 내인적 주의 활동인 PN(processing negativity)의 잠재기는 ISI에 민감하게 변한다. 즉, 짧은 ISI일수록 PN이 빨리 나타나며 긴 ISI일수록 PN이 늦게 나타난다(Näätänen, Gaillard, Mantysalo, 1978, 1980;

Teder, Alho, Reinikainen, Näätänen, 1993). 따라서 Nd의 잠재기가 680-980msec(평균 830msec)의 비교적 긴 ISI를 사용한 본 실험에서는 약 240msec였는데비하여 200-400msec의 짧은 ISI를 사용한 Alho등(1992)의 결과에서는 N1의 잠재기에 겹쳐졌다. 본 실험에서 P2의 진폭이 짧은 ISI를 사용한 실험과 대조적으로 비주의 조건에서보다 주의조건에서 더 낮은 이유도 PN의 잠재기로서 설명할 수 있다. 즉, 주의조건에서 주의관련 내인적 뇌활동인 PN이 늦게 개시되어 P2의 잠재기에 겹쳐져서 P2의 정적성이 감소된 듯하다. ISI에 의해서 PN과 N1이 분리된다는 사실은 N1으로 반영되는 자극의 물리적 속성을 표상하는 단계가 주의와 무관함을 나타낸다. 또한 청각 정보의 선택이 자극의 물리적 속성처리단계 이후에 일어난다는 것을 시사한다.

표준 자극에 대한 Nd의 진폭이 과제조건에 따라 유의미한 차이를 보일 것으로 기대했으나 기록영역 전반에 걸쳐 과제 효과는 무의미하였다. 행동결과나 ERP의 후기요소들은 과제효과를 나

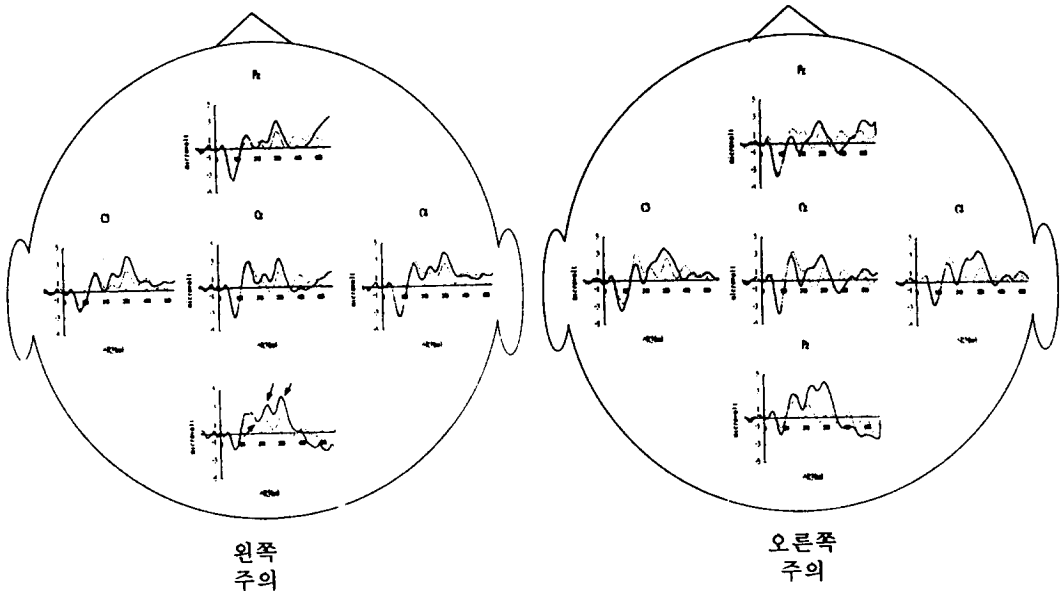


그림4 쉬운 과제에서의 일탈자극에 대한 전체평균파형

N2, P3a, P3b를 Pz에 차례로 나타내었다. 진한선이 주의 조건이며 연한선이 비주의 조건이다.

타내었음에도 불구하고, Nd의 평균진폭에는 과제효과가 나타나지 않았다는 것은 처리부하가 증가한다고 해서 자극의 물리적 속성처리에 더 많은 주의를 개입하는 것이 아닐 가능성을 보여준다. 일탈자극에 대한 과제효과가 200msec이후부터 관찰되므로 처리부하는 청각 정보처리과정의 후기에 영향을 준다고 할 수 있다. Novak, Ritter 와 Vaughan(1992)은 청각정보처리에 대하여 다음의 모형을 제시하였다. 청각정보는 두 개의 병렬적이고 동시에 활성화되는 기체에 의해 처리된다. 한 기체는 능동적으로 통제되

고 주의자취를 유지한다. 이것은 주의조건을 결정짓는 속성(본 실험의 경우 공간 속성)에 대한 처리를 촉진하며 PN과 N2, P3요소등으로 반영된다. 두 번째 기체는 자동적으로 작동되며 주의와 무관하며 표준 자극과 일탈자극의 불일치에 의해 유발된다. Näätänen(1990)에 따르면 이 자동처리는 속성탐지 시스템의 일부이다. 자극이 유입되면 자극의 물리적 속성에 관한 정보가 감각기억 저장소에 전달된다. 감각 기억저장소는 자극에 대한 신경자취를 보유하고 있으며 같은 자극이 반복적으로 제시될수록 강화된다. 유입되

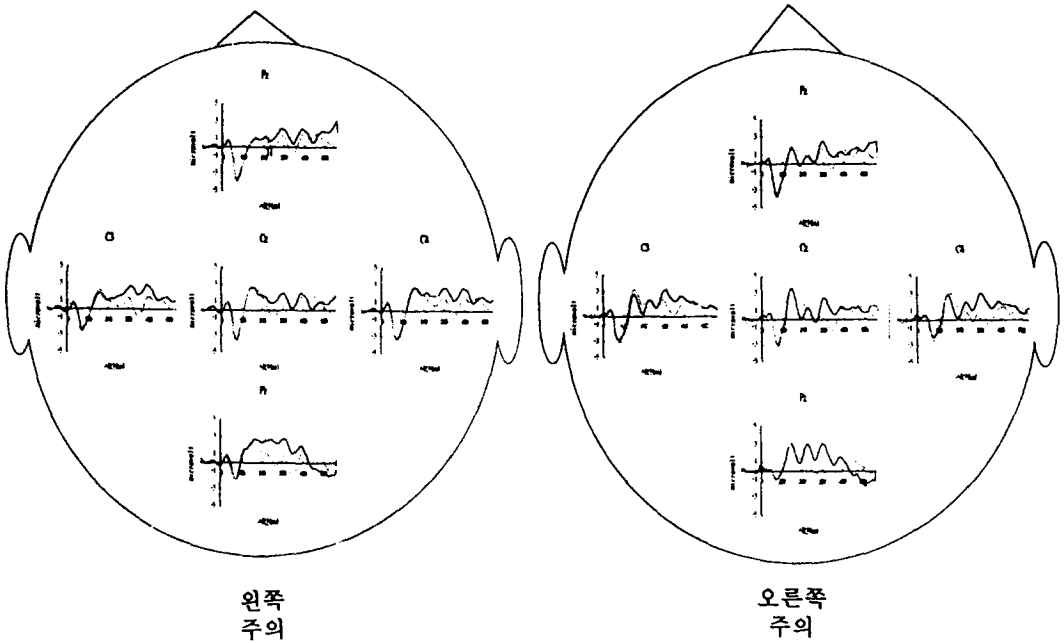


그림5. 어려운 과제조건에서 일탈자극에 대한 전체평균 ERP파형

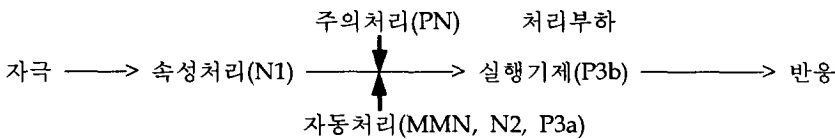


그림6. 청각 정보처리모형

는 새로운 자극들이 이 자취와 일치하지 않을 때 MMN발생기가 활동한다. MMN발생기의 구체적 역할은 자극의 편향정도에 대한 정보를 산출하는 것이다. 편향 정도가 역치 이상으로 큰 정보는 자동적으로 상위의 실행기제(executive system)에 제공된다. 이런 방식으로 실행기제는 주의입력에 있지 않더라도 신기한 자극은 처리하여 유기체에게 유리한 정보를 취하게 한다. Novak 등(1992)은 자동처리기제는 행동 반응 시간등과 같은 후기 운동계의 발현시간을 결정지을 수 있는 반면 주의 기제는 반응의 정확성을 결정짓는다고 제안하였다.

본 실험결과를 위의 모형에 추가하자면 과제난이도에 따른 처리부하는 상위 수준의 실행기제에 만 영향을 주는 것 같다. 즉 실행기제는 불일치의 정도에 관한 정보를 전달받아 운동반응을 결정하는데(그림6), 처리부하가 높을 때 실행기제에 인지적 자원이 많이 할당되어 반응의 민감도가 높아진다(Spitzer, Desimone, & Moran, 1988). 실행기제의 처리를 반영한 P3b의 진폭이 어려운 과제조건에서 감소하는 현상은 위의 설명에 무관하지 않다(Isreal, Wickens, Chesney, & Donchin, 1980; Kramer, Sirevaag, & Braune, 1987). 그러나 인지적 자원의 할당과 그 진폭변이 사이의 가능한 관계는 추후의 연구로써 뒷받침되어야 할 것이다.

요약하면 선택적 주의에서 주의와 과제요인에 따라 자극처리가 어떻게 달라지는지를 전기생리학적 지표인 ERP측정 결과로서 주로 논하였다. 청각정보처리 과정상에서 주의가 개입하는 시점은 물리적 속성처리가 일어나고 난 후이며 과제 부하는 인지적 평가과정에 개입한다고 할 수 있다. 기존의 연구에서 주의와 과제조건에 따라 행동결과가 다르다는 것은 명백하였으나 정보처리 과정 중 어느 시점에서 어떻게 다르다는 것은 불투명하였다. 본 연구는 청각에 대해 한정적이긴 하나 이러한 제한점을 다소 극복하였다.

참 고 문 헌

- 안한숙(1995). 인지정보처리과정의 사건관련 전위들: P300파의 연구과정에서 밝혀진 사건관련-전위 구성성분에 대한 개관. *한국심리학회지: 생물 및 생리*, 7:1-34.
- Alho, K. (1992). Selective attention in auditory processing as reflected by event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 29, 247-263.
- Alho, K., Woods, D. L., Algazi, A., & Näätänen, R.(1992). Intermodal selective attention. II. Effect of attentional load on processing of auditory and visual stimuli in central space. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 82, 356-368.
- Britton, B. K., & Tesser, A. (1982). Effect of prior knowledge on use of cognitive capacity in three complex cognitive tasks. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 21, 421-436.
- Cohen, R. A., Sparing-Cohen, Y. A., & O'Donnell, B. F.(1993). The neuropsychology of Attention. New York and London: Plenum Press.
- Hillyard, S.A., Hink, R. F., Schwent, V.L., & Picton, T.W. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182, 177-180.
- Isreal, J. B., Wickens, C. D., Chesney, G. L, & Donchin, E. (1980). The event-related brain potential as an index of display-monitoring workload. *Human factors*, 22, 211-224.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliff, NJ:Prentice-Hall.
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the

- economy of the human-processing system. *Psychological review*, 86, 214- 255
- Näätänen, R., & Michi, P. T. (1979). Early selective-attention effects on the evoked potential: A critical review and reinterpretation. *Biological Psychology*, 8, 81-136
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K., & Mäntysalo, S. (1978). Early selective attention effect reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313-329.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K., & Mäntysalo, S. (1980). Brain-potential correlates of voluntary and involuntary attention. In H. H. Konhuber and L. Deeke(Eds.), *Motivation, motor and sensory processes of the brain: Electrical potentials behavioral and clinical use*(pp. 343-348). Amsterdam: Elsevier.
- Näätänen, R., Teder, W., Alho, K., & Lavikainen, J. (1992). Auditory attention and selective input modulation: A topographical ERP study. *NeuroReport*, 3, 493-496.
- Rosenzweig, M. R. (1951). Representations of the two ears at the auditory cortex. *American Journal of Physiology*, 167, 147-158.
- Spitzer, H., Desimone, R., & Moran, J. (1988). Increased attention enhances both behavioral and neuronal performance. *Science*, 240, 338-340.
- Teder, W., Alho, K., Lavikainen, J., & Näätänen, R. (1993). Interstimulus interval and the selective attention effect on auditory ERPs: "N1 enhancement" versus processing negativity. *Psychophysiology*, 30, 71-81.
- Woldorff, M. G. (1993). Distortion of ERP averages due to overlap from temporally adjacent ERPs: Analysis and correction. *Psychophysiology*, 30, 98-119.
- Woods, D. L., Alho, K., & Algazi A. (1994). Stages of auditory feature conjunction: An event-related brain potential study. *Journal of Experimental Psychology: human Perception and Performance*, 20, 81-94.

The effect of task difficulty on auditory event-related potential in a selective attention task.

Sang Hee Kim and Hyun Taek Kim

Korea University.

Event-related potentials were recorded from normal subjects in an auditory selective attention task. The focus of this study was the effect of processing load on event-related potentials(ERPs). Subjects were instructed to selectively attend to tones of designated ear and to respond to those that were higher in frequency by pressing a corresponding response button. Processing load was manipulated by the difficulty level of discrimination between standards and deviants. The standard stimuli were 1000Hz, 60dB SPL, tone burst. The deviant stimuli were only differed in frequency. In the easy task condition, the deviant stimuli were 1500Hz and in the hard task condition, they were 1050Hz.

Performance was more accurate and faster in the easy task. These results show that the task condition was reliable. Attention effect(Nd) to standard stimuli peaked at approximately 240msec with a maximal amplitude at Fz. The latency of Nd was dissociated from that of N1. Thus we can conclude that the attention effect was not caused by N1 enhancement but by the activity of processing negativity(PN). The task effect was appeared to the later ERP components. The amplitude of P3b was decreased in the hard task as in previous studies.

The result showing the ineffectiveness of attention on N1 suggests that the process to analyze physical features of auditory stimulus can be automatic. The task effect was shown only on the later components of the ERP, therefore we can conclude that the processing load does influence in the later stages of auditory stimulus processing.