

인지 정보처리 과정의 사건관련 전위들: P300¹⁾과의 연구 과정에서 밝혀진 사건관련-전위 구성성분에 대한 개관*

안 한 숙

아주대학교 심리학과

본고는 크게 두 부분으로 나뉘어져 있다. 첫부분은 P300을 연구하는 과정에서 우연하게 발견된 P300에 선행하는 짧은 잠재기 구성성분을 다루는 것이고, 뒷부분은 P300에 뒤따르는 잠재기가 길고 오랜 지속시간을 가진 서파에 관한 것이다. 실제로 짧은 잠재기 구성성분에 대한 대부분의 연구자들은 일반적으로 서파에 대하여 관심을 덜 기울이고 반대로 서파에 관심을 갖는 연구자들은 짧은 잠재기 구성성분에 관심을 덜 기울이는 경향이 있다.

초기 잠재기 구성성분(Mismatch negativity: MMN, P300, Negative difference: Nd등)은 서파와 겹쳐 실제적으로 그 지속시간이 매우 크다는 속성을 공유하고 있다. 청각 자극의 선택적 주의효과는 20msec 동안만 지속되는데 반면, 시각 자극의 공간적 선택과 연관된 선택적 주의의 효과는 전형적으로 대략 100msec 동안 지속된다. 보통 MMN은 약 200msec 동안 지속되지만 P300 구성성분은 그보다 훨씬 긴 500msec 정도의 지속시간을 갖고 Nd는 심지어 수백 msec 동안이나 지속될 수 있다. 이와 같은 ERP 구성성분의 잠재기: 피험자가 상이한 과제를 수행하는데 사용하는 책략들에 의해 변경되는 것 같다.

서파에 관한 초기 연구들은 뇌의 뒤쪽 양성파와 앞쪽 음성파로 된 하나의 서파만 있는 것으로 생각하였다. 그러나 서파연구의 두가지 주요 발견 중 하나는 뇌의 국소적 분포와 다양한 정보처리과정과 관련되어 있다는 점이고, 다른 하나는 서파의 지속시간이 피험자가 수행할 과제량에 달려있다는 것이다. 따라서 서파는 행동반응을 결정하는 단계와 관련되어 있다고 할 수 있겠다.

1)

I. 서 문

1929년 독일의 정신과 의사 Hans Berger는 인간

의 두피에 전극을 부착하여 뇌의 전기적인 활동을 기록한 논문을 발표하였다. 그 당시의 전기공학 지식은 초기 단계에 불과하였고, 더구나 미세 전압

* 이 논문은 1994년도 아주대 교내 학술 연구비 지원에 의해 작성되었음.

1) 사건관련단위의 구성성분에 대해서는 두가지 다른 표시 방식(labeling system)을 일반적으로 사용한다. 구성성분의 구성은 P(양성), N(음성), O로 표시하고, 그 뒤에 작은 문자나 숫자를 덧붙인 것(P3, Pa등)은 어떤 특정한 파상의 연속에서 순서를 명기한 것이다. 또는 큰 숫자를 덧붙인 것(P300, N156등)은 유반전위의 잠재시간을 msec로 나타내는 것이다.

(microvolt)의 생물학적 신호를 기록한다는 것은 기술적으로 어려웠기 때문에 이 결과는 학계에 쉽게 수용되지 않았다. 최근 전기공학에 대한 지식이 발전되고 소형 컴퓨터가 널리 보급되어 거시적인 뇌전위와 같은 뇌전도(electroencephalogram: EEG) 및 사건관련 전위(event-related potential: ERP) 혹은 유발전위(evoked potential: EP)에 대한 연구들이 활기를 띠기 시작하였다. 1950년대에 시작된 인간의 지각과 인지에 대한 정보처리(Information processing)라는 접근방식은 기존 개념들에서 파생된 것이기는 하나 당시로서는 가히 혁명적인 것이었다(Haber, 1974). 지난 30여년간 그 같은 연구들은 다수 인지 심리학자들의 연구설계와 이론모형의 주류를 이루어 왔다. 또한 같은 시기 신경 생리학적 수준에서 인간 뇌의 감각 정보처리과정을 검사할 수 있는 기술도 컴퓨터의 사용과 더불어 비약적인 발전을 거듭하였다. 감각, 인지, 운동 활동과 연관되어 발생하는 주기적인 미세 뇌전위는 신체에

대한 아무런 위하나 부담이 없는 전기기록법을 통해 두피에서 쉽게 탐지할 수 있다. 이 사건관련 전위는 뇌에서의 정보 전환과정과 관련된 신경활동 패턴의 원거리 반응(far-field reflection)이다. ERP에 대한 최근 실험연구들 대부분은 인지심리학의 실험설계기법들을 도입하여 부호화, 탐지, 기억 및 의사결정(decision making)과정 등과 같은 정보처리 단계를 반영하는 뇌파활동의 특정 구성성분(component)을 규명하는 데에 초점을 맞추고 있다(Hillyard & Kutas, 1983).

감각신호에 의해 유발된 뇌의 신경활동을 두피로부터 기록한 ERP들은 일련의 양성 정점(positive peak)과 음성 정점(negative peak), 그리고 특정시간에 따라 일어나는 다양한 뇌파구성성분으로 묘사될 수 있다. 잠재시간(latency)이 짧은 구성성분은 뇌간에 있는 청각계통의 중계핵들과 말초신경의 감각통로에 있는 신경활동들을 나타낸다(그림 1에서 뇌파 I-VI). 자극 후 첫 80msec 내에 일어나는 대

청각 사건-관련 전위

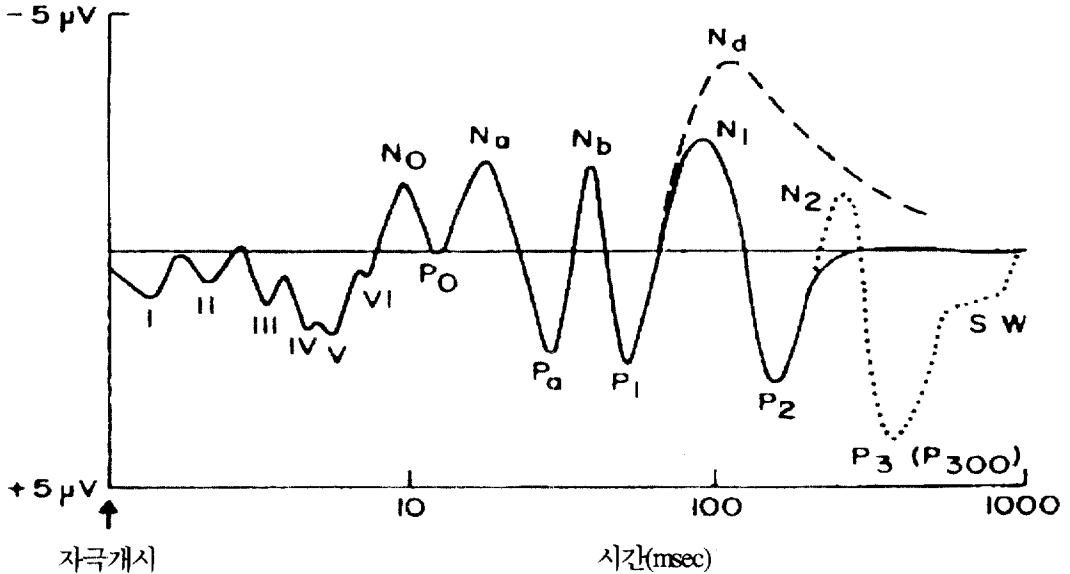


그림 1. 아주짧은 소리자극에 유발된 개개의 ERP를 자극개시시각에 고정시켜 ERP들을 가지고 컴퓨터로 평균을 낸 청각ERP의 이상적 뇌파형, Logarithmic시간표시는 초기 뇌파반응(뇌파 I-VI), 중간잠재기를 갖는 Component(No, Po, Na, Pa, Nb), 두정전위(vertex potential)파(P1, N1, P2) 및 과제관련 내인성 Component(Nd, N2, P300 및 SW).

부분의 초기 ERP 구성성분은 자극의 물리적 특성에 따라 변하지만, 정보처리과정이 요구되는 자극의 질적 변화에는 상대적으로 그렇게 민감하지 않다. 그래서 초기 ERP 구성성분은 외부자극의 물리적 변인에 의해 변한다고 하여 “외인성(exogenous)”, 또는 “자극의존(stimulus bound)”이라는 용어가 붙어 왔다. 이와는 대조적으로 좀 더 잠재시간이 긴 ERP 구성성분은 특정한 지각과 인지과정과 관련해서만 나타나므로 “내인성(endogenous)”인 것으로 간주된다. 가장 광범위하게 연구된 내인성 구성성분에는 Nd와 P3(P300) 두 종류가 있는데, “Nd”과는 입력통로 또는 주의를 집중한 청각신호에 의해 유발되며, P3(P300)과는 예기치 않은 뜻밖의 신호 혹은 과제와 관련된 정보를 제공하는 신호를 받은 다음에 나타난다.

최근에 등장한 “인지심리생리학(cognitive psychophysiology)” 분야의 주된 연구목적은 정보처리과정의 단계나 특정한 처리양식의 지표로서 뇌의 특정한 ERP 구성성분을 정의하는 것이다(Donchin, 1982). 이는 서로 상이한 인지과정이 요구되는 과제에 대한 ERP반응들과 그에 대한 행동측정치들간의 관계를 규정해야 하는 난해한 과정을 통해 이루어질 수 있다. 일단 이러한 방식으로 그들간의 관계가 확인되면, ERP측정치들은 시차(timing), 순서(ordering), 그리고 특정 인지활동을 개시하는 중개과정의 상호작용들을 해명할 수 있고 이를 근거로 병렬적 또는 계열적 처리과정의 신경기체에 대해서도 추론할 수 있다. 행동측정치들에 대한 일종의 “수렴된 조작 (converging operations)”으로 이용된 ERP자료는 또한 지각, 인지 및 언어과정들의 분류작업에도 기여할 수 있다. ERP패턴에서의 질적 차이들이 서로 다른 과정의 조작을 암시하는 반면, 과제 전반에 걸친 동일한 ERP파형들은 정보처리 과정에서의 공통된 단계들을 가정할 수 있는 수렴된 증거를 제공한다. 궁극적으로 내인성 ERP의 생리학적 생성원들이 인간과 동물 양 연구를 통해 규명될 수 있듯이, 마찬가지로 우리는 특정한 인지활동에 관여하는 뇌체계들도 밝혀낼 수 있을 것이

다(Galambos & Hillyard, 1981).

최근들어 인지과정과 내인성 ERP의 구성성분과의 관계는 매우 활발히 연구되고 있다. 본고는 P3 구성성분을 연구하는 과정에서 발견된 P3보다 짧은 잠재기를 가진 구성성분과 서파(slow wave: SW)에 대한 최근의 연구성과들을 개관하여 체계적으로 검토한 것이다.

II. P3(P300)구성성분

1965년에 출판된 한 세미나 논문에서 Sutton, Braren, Zubin 및 John은 인간 피험자들의 두피로부터 P3라는 뇌파 구성성분을 최초로 보고하였다. 이 실험에서 한 조건은 피험자들에게 매 시행에 앞서서 무작위 순으로 제시하는 음(tone)이나 빛의 섬광(flash of light)중에서 어떤 것이 제시될 것인지 또는 그렇지 않을지를 추측하도록 하고 피험자에게 그 시행에 자극이 가해질 때 그 추측이 맞았는지 틀렸는지를 밝히도록 하는 것이다. 또 다른 조건은 매 시행마다 같은 자극을 제시하고 피험자에게 그에 대한 정보를 미리 주었다. 이 연구에서는 피험자가 어떤 자극이 제시될 것인지에 대해 불확실하게 여길 때 약 300msec의 정점 잠재기(peak latency)를 갖는 양성(positive) 뇌파, 즉 P3가 유발되었다. 자극이 자신의 추측이 정확한지에 관한 정보를 피험자에게 제공하기 때문에 Sutton 등은 P3는 정보의 전달과 연관되어 있다고 생각하였다.

두번째 연구에서 Sutton, Tueting, Zubin 및 John(1967)은 매 시행마다 무작위 순으로 580msec 간격을 두고 한번 또는 두번의 제각거리는 소리(click)를 자극으로 제시하였다. 이에 더하여 주어진 시행의 click들을 무작위 순으로 크거나 또는 작게 제시하였다. 한 실험조건에서는 피험자로 하여금 매 시행에 앞서 click 소리가 한 번 전달될 지 또는 두 번 전달될 지를 추측하도록 하였다. 다른 조건에서는 그 click 소리가 클지 약할지를 추측하도록 하였다. 따라서 첫번째 조건에서는 피험자가 자신

의 추측이 옳은 지에 대해 알게 되는 시점은 두번째 click 소리가 제시되거나 또는 제시되지 않을 시점이었다. 결국 P3는 두번째 click 소리의 제시 여부에 의해서 유발된다는 사실이 밝혀졌다. 그러나 소리의 크기를 추측할 때에는 피험자들이 첫번째 click 소리가 나타날 때 자신의 추측이 정확한지에 대해 알게 되었다(만일 두번째 click 소리가 제시될 경우 항상 처음 click과 같은 강도로 제시된다). 이 조건에서 두번째 click 소리가 있고 없느냐는 P3와 무관하였다. 그러므로 P3는 적절한 정보를 전달해주는 자극(또는 그 자극이 없을 때에도)에 의해 유발된다고 볼 수 있다.

1967년 후속연구에서는, Sutton 등이 피험자에게 무엇이 제시될 것인지를 매 시행전에 미리 알려주는 점 외에는 위에 언급한 바처럼 매 시행마다 한번 또는 두번의 click 소리를 제공하는 동일한 조건을 채택하였다. 마찬가지로 예상할 수 있는 자극이 P3를 유발시키지는 않았다. 따라서 Sutton 등은 P3를 불확실성(resolution of uncertainty)과 연관되어 있다고 결론을 내렸다.

자극이 있느냐 없느냐의 여부에 따라 P3가 유발된다는 아같은 사실은 Sutton 등(1967)으로 하여금 P3가 본질적으로 내인성이라는 견해를 밝히게 하는 결정적인 근거가 되었다. 자극이 청각적이든 시각적이든 P3가 발생하고, 그것의 잠재기는 N1에 청각 ERP와 시각 ERP 파상들을 배열한 후 피질에 도달하는 시간에 맞추어 조정될 때 만이 비교할 수 있다. 그래서 P3는 초기에 잠재기를 갖는 외인성 구성성분과는 대조적으로 특정한 자극 양상에 고유한 것이 아니라는 결론을 내리게 되었다. Sutton 등(1965)은 또한 P3가 자극을 제시하는 확률에 민감하다는 것을 발견하였다. 왜냐하면 만약 각각의 음이나 빛(light)이 다른 자극들 보다 상대적으로 제시될 확률이 적다면 음이나 빛 자극은 더 큰 P3를 유발했을 것이기 때문이다.

Sutton 등의 이러한 발견은 P3의 가장 기본적인 특징을 부각시켰고, 광범위한 후속연구들을 촉발시켰다. 나아가 P3의 연구는 그보다 잠재기가 약간

앞서거나 뒤따르는 P3를 동반한 일련의 다른 인지 ERP 구성성분에 대한 발견으로 이어졌다.

비교적 짧은 시간에 P3는 표적선택(target selection), 의사결정(decision making), 감각변별(sensory discrimination) 그리고 적격-부적격 짝맞추기 과정(match-mismatch processes)등과 같은 인지활동들과 연관되었다. 그러나 Ritter, Simson 및 Vaughan(1972)은 P3의 잠재기와 반응시간(reaction time: RT)이 상관되어 있으며 초기의 구성성분(N2)이 이런 과정들과 연관될 가능성이 있기 때문에 예를 들어 P3는 반응시간의 원인이 되는 뇌의 사건들을 반영한 것이라고 보고하였다. 실제로 P3는 종종 그것이 유발되는 시행들에서 변별적 결정과 관련된 처리과정과 결부시키기에는 너무 늦은감이 있다. 그래서 P3와 똑같은 실험적 상황에서 유발되나 그보다 더 빠른 초기 잠재기를 지닌 ERP 구성성분을 연구하고자 하는 시도가 나타났다. 그 주요 구성성분은 N2와 짝을 잘못 맞출 때 생기는 음성파(MMN)인데, 각각에 대해서는 아래에서 더욱 자세히 언급할 것이다. 이 MMN은 자극이 제시된 이후 50msec 정도의 비교적 초기에 나타날 수 있고, 현자극 바로 직전에 있었다. 자극과의 변별을 요하는 기억효과를 반영하는 것으로 생각된다. 따라서 이런 초기 구성성분을 기술하고 구체화하기 위한 연구들은 대부분 매우 짧은 시간동안에 처리되는 과정들에 초점을 맞추게 되었다.

1975년 N. Squires, K. Squires 및 Hillyard는 P3가 또한 P3를 지나 지속되며 그들과 서로 겹쳐지는 서파활동을 수반한다고 보고 하였다. 서파 활동에 대한 초기 연구들은 주어진 시행에서 피험자들의 수행이 P3보다 시간적으로 종종 먼저 일어나는 과정들에 의해 결정되는 실험연구 과제들을 계속 사용하였다. 그러나 후속 연구자들은 주어진 시행에서의 수행시간이 매우 긴 과정에 기반을 두고 P3를 지나서도 계속 지속되는 과제쪽으로 관심의 방향을 바꾸었다. 예를 들어, 피험자에게 일련의 많은 숫자들을 보여주고 여러 숫자들에 대해(산술계산과 같은) 몇가지 과제를 수행하도록 요구하였다. 그

숫자들은 그 과제를 수행하는 데 중요한 정보를 지니고 있을 수도 있기 때문에 P3를 유발하게 된다. 그러나 P3에 뒤따르는 서파는 피험자들의 반응을 유도하는 연속적이고 보다 긴 처리과정들과 연관되어 보였다.

III. 초기 음성성 내인성 구성성분

아마도 P3 연구에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 실험 모형은 출현 빈도가 잦은 자극(표준자극으로 규정)과 빈도가 낮은 자극(이탈자극으로 규정)을 제시하는 오드볼 패러다임(oddball paradigm)일 것이다. 이러한 oddball 패러다임을 연구자들이 선호하는 까닭은 이 방법이 P3파의 진폭을 증가시킨다고 알려진 저확률의 사건들을 포함하고 있기 때문이다. 이 분야의 연구 초기 확률이 서로 다른 두 가지 자극을 사용한 Sutton 등(1965)의 연구와 그 후 파라메트릭(parametric) 방법을 채용한 Tueting, Sutton 및 Zubin(1970), 그리고 Duncan-Johnson과 Donchin (1977)의 연구에서 입증한 바와 같이 P3파의 진폭은 자극이 제시되는 확률에 반비례로 연관되고 있다. 이는 P3를 얻기 위해 반드시 oddball 패러다임을 사용할 필요는 없다는 것을 의미한다. Sutton 등 및 다수의 후속 연구들은 확률이 같은 자극들을 제시하여 P3를 얻었다. 최근 Polich, Eischen 및 Collins(1994)는 P3 진폭과 잠재기가 oddball과 단일-자극절차들 모두에서 매우 유사하다고 보고하였다. 그러나 P3를 규정짓는데 사용되는 기준의 하나인 P3의 진폭은 자극이 제시되는 확률에 민감하기 때문에 이 oddball 패러다임은 표준자극과 이탈자극에 의해 유발되는 ERP를 비교함으로써 이들 기준을 만족시킬 수 있어서 매우 유용하게 활용된다. 더욱이 oddball 패러다임을 사용함으로써 자극이 제시될 확률에 진폭과 반비례적으로 연관되는 다른 인지 ERP 구성성분을 발견할 수 있었기 때문에 ERP연구에 하나의 전기가 마련되었다(다시 말해서, 그들 구성성분을 규정짓는 특징의

하나가 되었다).

P3에서와 마찬가지로, oddball 패러다임을 사용한 연구들에서도 다른 여러 구성성분이 발견되었다. 1968년, Klink, Fuhstorfer 및 Finkenzeller는 매 0.86초에 한번씩 일정한 비율로 진동(vibratory) 자극을 주고, oddball 시행에서는 가끔 그 자극을 생략하였다. Sutton 등(1967)이 보여주었던 것과 마찬가지로 예측 불가능한 자극을 생략하면 P3가 유발되었다. 그러므로 표준자극의 신속한 속도와 규칙적인 리듬은 피험자들이 매 표준자극이 제시될 시점을 보다 정확하게 예견할 수 있는데, 이것들은 oddball 패러다임과 연관된 내인성 구성성분들에 대한 보다 효과적인 시각-일치점(time-locking)을 산출할 수 있게 한다. P3파는 N2파라고 부르는 음성파 뒤에 나타나는 것으로 밝혀졌다. 한 세미나에서 발표한 논문에서, Squires 등(1975)은 N2파가 자극의 확률에 민감하며 또한 그 oddball 자극은 적어도 그것을 유발시키는 자극이 제시되는 확률에 진폭과 반비례하는 다른 두파(P3a와, 서파)들을 유발시킨다는 점을 보여주었다. 후자의 구성성분은 모두 Pz(두정엽 정중선 부위)에서 최대 양성파가 되지만 잠재기와 뇌의 분포 부위에 있어서는 P3와 구별될 수 있다. P3a파는 P3파보다 잠재기가 더 짧고 전두엽쪽으로 더 치우쳐 나타난다(차례로 각각 P3a, P3b라 칭한다). 반면에 서파의 활동은 P3b파보다도 더 늦게 정점에 도달하고 P3b에서와 같이 두정엽에서 가장 큰 진폭을 보이지만, 그 속성은 전두엽 영역에서 음성극(negative polarity)으로 반전된다.

1978년에 Näätänen, Gaillard 및 Mäntysalo는 또 유연한 기회를 통해 oddball 자극이 N2파보다 더 선형하는 잠재기를 갖는 MMN이라는 음성 구성성분을 유발한다는 사실을 발견하였다. 이 구성성분 역시 꼭 oddball 패러다임을 통해 확인되는 것은 아니다. 예를 들어, Sams, Alho 및 Näätänen(1983)은 확률이 같은 자극들의 배치순서를 부분적으로 조작함으로써(예: 유발자극 바로 직전에 제시하는 자극의 배치를 부분적으로 조작하는 절차) MMN과

와 N2과 모두를 확인할 수 있다는 점을 보여주었다. 그럼에도 불구하고 oddball 패러다임은 이들 양과 모두를 유도할 수 있는 하나의 편리한 실험모형이 되고 있다.

Oddball 패러다임의 중요한 변화는 선택적 주의에 관한 연구에서 두개의 서로 혼합된 oddball 자극계열을 사용하는 것이다. 이 절차에서 피험자의 과제는 동시에 제시되는 두 종류의 oddball 자극계열 중 어느 하나에 주의를 기울이면서, 그 계열들 중에서 한 계열에서의 이탤자극을 제거나 버튼을 누르게 하고 다른 계열의 자극은 무시하도록 하는 서로 다른 반응이었다. 이 두 개의 자극계열은 통상적으로 단순한 물리적 속성(예를 들면, 자극을 전달하는 귀)에 의해 구별된다.

이상과 같은 단일 oddball 패러다임이나 이중 oddball 패러다임을 사용한 연구에서 밝혀진 몇가지 구성성분을 살펴보면 다음과 같다. 앞서 언급한 바와 같이 이중 oddball 패러다임에서 피험자들은 일반적으로 한 자극계열에 주의를 기울이고 다른 자극계열은 무시하라는 지시를 받는다. 반면에 단일 oddball 패러다임에서는 피험자로 하여금 피상적으로 유사한 자극계열에 주의를 기울이고 한 조건에서는 표준자극과 이탤자극에 서로 차별적으로 반응하게 하고, 다른 조건에서는 자극들을 무시하도록 한다(보통 책을 읽거나 관련이 없는 과제를 수행하는 동안). 본 개관에서 한 가지 중요한 점은 구성성분이 유발되거나 유발되지 않은 상황들에 있다. 이는 주로 피험자가 자극에 주의를 기울이거나 주의를 기울이지 않을 때 얻어지는 구성성분을 서로 비교해 보면 분명해진다. 또 한가지 중요한 점은 주의를 기울인 자극계열과 무시한 자극계열들을 비교할 때 단일 및 이중 oddball 배열 간에 발견되는 차이점들이 될 것이다.

1. 부적격 짝맞추기 음성파(The Mismatch Negativity: MMN)

청각 자극을 사용한 oddball 패러다임에서 음의 고저(pitch), 강도, 위치 및 지속기간 등과 같은 다

양한 변인을 표준자극과 다르게 조작한 이탤음을 사용함으로써 MMN을 유발시킬 수 있다. MMN의 잠재기는 표준자극과 이탤자극 사이의 시차크기에 반비례 하고 그 진폭은 정비례한다(Näätänen & Gaillard, 1983). MMN의 진폭은 이탤자극에 앞서 제시되는 표준자극의 수가 많아짐에 따라 증가하고(Sams et al., 1983), 자극간의 간격(ISD)이 길어짐에 따라 감소한다(Mäntysalo & Näätänen, 1987). MMN은 전두엽 중앙(fronto central)에서 가장 크게 나타나고, 비강을 뇌파 기록의 기준(reference) 부위로 사용할 때 전두엽 정중선(Fz)에서 유양돌기(mastoid)까지의 관상선을 따라 극성이 역전된다(양성과파 → 음성과파 ; 음성과파 → 양성과파)(Alho, Paavilainen, Reinkainen, Sams, & Näätänen, 1986). 자기기록(magnetic recording) (Hari, Hämäläinen, Ilmoniemi, Kaukoranta, Reinikainen, Salminen, Alho, Näätänen, & Sams, 1984)과 인간피험자에게서 얻은 전기기록의 양극분석(dipole analysis) (Scherg, Vajsar, & Picton, 1989), 그리고 고양이(Csepe, Karmos, & Molnár, 1987)와 영장류(Javitt, Schroeder, Steinschneider, Arezzo, & Vaughan, 1992)를 대상으로 한 뇌내 기록(intracranial recording)들에서 MMN의 발원은 일차 청각피질 안이나 또는 바로 그 인접부위에 위치하고 있다.

MMN은 최근 연구들에서 논의되고 있는 다른 파들과는 두 가지 측면에서 상이한 것으로 보고되어 왔다. 즉, 그것은 예측가능한 자극과 주의를 기울이거나 혹은 주의를 기울이지 않은 자극들에 의해 발생될 수 있다. 그에 대한 구체적인 상황들을 차례로 검토해 보겠다.

Scherg 등(1989)은 피험자가 책을 읽거나 자극을 무시하는 동안에 두가지 방식으로 음을 제시하였다. 먼저 한 자극배열에서는 pitch가 다른 두개의 음들을 부작위순으로 진시행의 80%정도와 20%정도의 확률로 제시하였다. 또 다른 자극배열은 두 음을 제시하는 확률은 같지만, 그들은 네개의 표준 음들을 제시한 뒤에 항상 이탤음을 규칙적으로 제시하였다. 자극을 제시하는 두 가지 다른 방법을

통해 얻어진 MMN에는 아무런 차이도 발견되지 않았다. 이것은 완벽하게 예측이 가능한 자극에 대해서는 유발되지 않는(혹은 매우 적게 발생하는) N2와 P3를 비교할 수 있도록 해 준다. 자극이 예측가능한 방법으로 제시될 때 P3는 작거나 나타나지 않는다는 사실을 관찰했던 Sutton 등(1965; 1967)의 연구가 기억날 것이다. 실제로 그들은 P3가 (자극)불확실성의 감소와 연관되어 있다고 결론지었다. 일반적으로 내인성 구성성분은 자극들이 예측불가능할 때보다 예측이 가능할 때 더 작거나 나타나지 않는다. 그러나 MMN은 이탈자극의 예측가능성에 의해서는 영향을 받지 않는 것으로 여겨진다.

Scherg 등(1989)에 의한 연구 역시 또다른 방법을 통해 MMN이 다른 내인성 파들과는 다르다는 사실을 설명하고 있다. 즉, 피험자는 MMN을 유발시키기 위하여 자극에 주의를 기울일 필요가 없었다. 일반적으로 MMN은 피험자가 그 자극에 주의를 기울일 때뿐만 아니라 주의를 기울이지 않을때에도 청각자극의 아주 미세한 변화에 의해서도 유발되고

있다(Näätänen, 1990). 이는 단일 oddball 패러다임(그리고 피험자가 한 조건에서는 자극에 주의를 기울이고 나머지 다른 한 조건에서는 그것을 무시한다)을 사용하든 아니면 이중 oddball 패러다임(그리고 피험자가 동시에 다른 절차들은 무시하면서 절차들 중 하나에만 주의를 기울인다)을 사용하든 그 패러다임과는 상관이 없음을 의미한다. 그러나 이탈자극은 MMN과 겹치는 N2파를 유발하기 때문에 주의를 기울이는 조건에서 MMN파를 연구하는데 있어서는 잠재적으로 문제의 소지가 하나 있다. 그러나 이 점은 N2파가 MMN처럼 유양돌기(mastoid)에서 극이 반전 하지는 않기 때문에 크게 문제가 되지 않는다. 그림2는 단일 oddball 변별과제에서 이탈자극에 의해 MMN과 N2 양자 모두가 유발되는 상황을 묘사한 것이다(Novak, Ritter, Vaughan, & Wiznitzer, 1990). 이 실험에서는 표준 자극과 이탈자극 사이의 변별 난이도가 서로 다른 pitch를 배치하였다. 이때 비강을 뇌파 기록의 기준(reference)부위로 사용한다. 그림2는 이탈음과 연관된 ERP들에서 표준음과 연관된 ERP들을 빼서

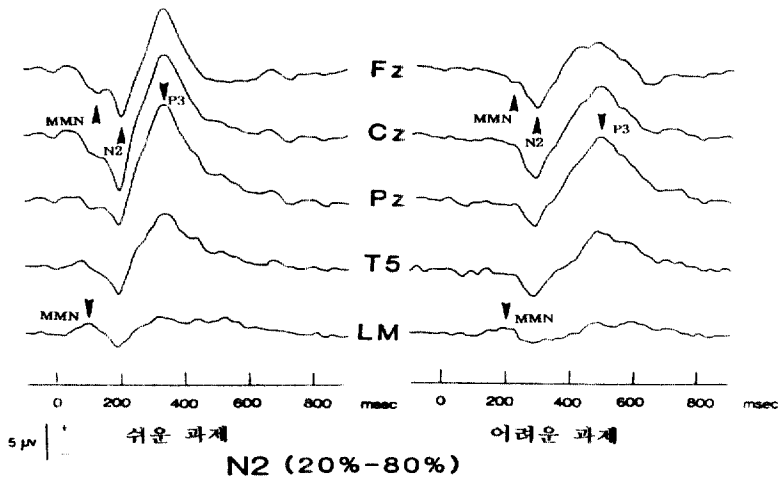


그림 2 선택 반응시간 과제에서 MMN과 N2 차이파형들: (표적자극 ERP(20%) - 표준자극 ERP(50%)). 쉬운 과제와 어려운 과제에서 화살표는 Fz의 MMN과 N2, Pz의 P3 및 LM의 MMN를 지적한다. (Novak 등, 1990).

언어인(이탈음(20%)의 ERP - 표준음(80%)의 ERP) 총 평균차이의 과상을 보인 것이다. 좌우 귀획들은 각각 쉬운 작업과 어려운 작업의 경우를 예시하고 있다. Fz에서 위로 향한 두개의 화살표시는 작은 정적 정점이나 경사에 의해 분리되는 음성(-)으로 진행되는 두 파(MMN, N2)를 지적한 것이고, Pz에서 아래로 향한 화살표시 P3 구성성분을 표시한 것이다. 초기 잠재기를 갖은 음성 파는 MMN이고 뒤에 나타난 것은 N2 파이다. 그림2에서 보듯이 MMN과 N2는 시간에 따라 중첩된다. 그러나 왼쪽 mastoid(LM)에서는 MMN(아래로 향한 화살표시로 지적된)은 극성이 역전되는 반면, N2는 극성이 바뀌지 않았다.

그림 2의 LM에서 MMN은 쉬운 과제에서보다 어려운 변별과제에서 잠재기가 약 100msec 정도 더 길다는 점에 유의하기 바란다. 또한 뇌 정중선(midline)에서 기록한 N2와 P3(RT도 또한 같은 양의 증가를 보인다)에서는 잠재기가 유사하게 증가하고 있다. LM에서 MMN의 시발과 최대값이 모두 쉬운 과제에서 어려운 과제를 하기까지(따라서 MMN의 기간이 두 과제에서 거의 같았다) 같은 양만큼 증가되었기 때문에, Novak 등(1990)은 MMN과 관련된 신경활동이 부적격 짝맞추기(mismatch) 과정 그 자체라기보다는 오히려 mismatch의 작동 결과를 반영한 것이라고 제안하였다.

피험자가 자극에 대해 주의를 기울일 때나 그렇지 않을 때 유발될 수 있는 MMN의 상황들 때문에 Näätänen, Simpson 및 Loveless(1982)는 그것이 자동과정과 관련되어 있다고 제안하였다. Näätänen (1990)은 어떤 조건들에서는 주의를 기울이지 않는 상태에서 MMN의 진폭이 감소하기는 하지만 완전히 사라지는 않는 잠정적인 연구 결과를 보고하였다. 한편 Woldorff, Hackley 및 Hillyard (1991)는 만일 실험절차를 관련자극에 대한 주의를 강한 초점을 맞출 경우 MMN이 사라질 수 있다는 연구 결과를 보고하였다. 이 실험에서는 13msec 동안의 톤소리(tone pip)를 매우 빠른 비율(직사각형의 분포를 갖는 65에서 205msec까지의 범위를 가진 ISI)

로 제시하였다. 양쪽귀에 음은 동일한 확률로 모두 똑같이 들리도록 하여 한쪽 귀에는 2000Hz, 다른 한쪽 귀에는 6000Hz의 높이로 들려주었다. 서비율의 이탈음이 양쪽 귀에 더 작은 소리(표준음은 90dB SL이고 이탈음은 피험자들 간에 평균 20dB 더 낮다)로 제시되도록 조절했더니 피험자들은 75%의 정확도로 강도의 변화를 알아내었다. 이 과제는 한쪽 귀의 자극에 주의를 기울이면서 이탈음이 제시될 때 버튼을 누르는 절차였다. 이 자극배열은 여러 가지 이유로 관련자극에 강력한 주의를 쏟도록 하였다. 빠른 속도로 제시되는 자극은 피험자로 하여금 관련없는 귀에 주의를 기울이는 것을 어렵게 하였다. 표적자극을 감지하도록 한 강도의 변별은 어려웠다; 양쪽 귀 제시와 두 귀에 주어진 음의 pitch에 있어서의 큰 차이는 비관련 귀에서 관련이 있는 귀에 제시하는 음을 쉽게 구별할 수 있게 하였다. 따라서 Woldorff 등(1991)은 MMN이 주의를 기울이는 것과 무관하지 않다고 결론지었다. Schröger, Paavilainen 및 Näätänen (1994) 또한 선택적 주의과제에서 70-200 msec의 ISI를 사용해 관련자극에 강하게 경도된 주의를 강도에서 이탈한 무관 자극의 음에 대한 MMN의 소멸과 관련되어 있다는 것을 발견하였다. Woldorff 등(1991)에 의해 사용된 자료들은 약 20 msec의 잠재기에서 시작되는 선택적 주의 효과를 밝혀 Woldorff, Hansen 및 Hillyard(1987)의 같은 실험 결과를 이해하는 데 중요할지도 모른다. 그러한 초기효과는 관련이 없는 음들의 개폐(gating)를 시사한다. 따라서 개폐가 MMN이 의존하는 비교측정 매카니즘에 입력(input)이 일어날 경우는 확인이 어렵기는 하지만 그런 맥락에서 MMN은 주위에 독립적이지는 않다. 그러나 개폐가 일어나지 않는 상황 하에서는(예를 들면, 강한 주의를 요구되지 않는) MMN이 주의와는 독립적이다. MMN이 고양이(Csepe et al., 1987), 신생아(Alho, Sainio, Sajaniemi, Reinikainen, & Näätänen, 1990)와 성인(Campbell, Bell, & Bastien, 1991)의 수면시에 일어난다는 보고들은 이러한 해석과 맥을 같이 하고 있다.

MMN이 주의와 독립적일 수 있다는 견해를 지지하는 증거들은 선택적 주의집중에 대한 후속연구들에서 나왔다. 이중 oddball 패러다임이 사용될 때 절차단서 간의 변별난이도는 이탈자극 절차 내에서 야기되는 MMN에 어떠한 영향도 미치지 않는다는 사실이 발견되었다. 동일한 감각양식 내의(intra-modal) 선택적 주의 과제에서 Novak, Ritter 및 Vaughan(1992a)은 MMN과의 진폭이나 잠재기 그 어떤 것도 유관음과 무관음 간의 변별 난이도에는 영향을 받지 않는다는 사실을 알아냈다. 청각적 자극과 시각적 자극이 서로 섞인 이질적인 감각양식들 간의(intermodal) 선택적 주의 과제를 사용한 Alho, Woods, Algazi 및 Näätänen(1992)의 연구에 의하면, 주의를 시각적 자극에 기울여질 때 이탈음들에 의해 유발된 MMN의 진폭이나 잠재기 모두는 표준 시각 자극과 이탈 시각 자극 변별 난이도나 표준자극이 제거되고 이탈자극만이 주어지는 간단한(시각적) 반응시간 과제의 수행에 의해 영향을 받지 않는다는 점이 발견되었다. 두 연구 모두에서 할당된 추가 주의자원들은(Novak 등의 연구에서는 유관음과 무관음을 변별하기 위한 것이었으나, Alho 등의 연구에서는 표준 시각 자극과 이탈 자극을 변별하기 위한 것) 이탈 청각 자극에 의해 유발된 MMN에 아무런 영향도 미치지 않았다.

현재까지, 청각 자극이외의 어떤 감각양식에서도 MMN이 증명된 바가 없다. Nyman, Alho, Laurinen, Paavilainen, Radil, Reinikainen, Sams 및 Näätänen(1990)은 시각 자극에 대한 MMN을 얻기 위해 많은 시도들을 하였으나 성공하지는 못하였다. 현재 많은 연구자들이 MMN이 청각계통의 특성인지의 여부를 밝히기 위해 노력중이다.

지금까지 언급한 MMN의 특성들과 그 초기 잠재기(MMN의 시발은 50msec 정도에서 시작될 수 있다(그림2 왼쪽 부분에 LM 기록을 보라)에 비추어 보면, MMN은 청각자극의 처리과정에서 아주 초기에 이루어지는 기억과 밀접한 상관이 있는 것으로 보인다. Näätänen(1992)은 문세의 이 기억을 감각기억이라고 제안하였다. Winkler, Paavilainen 및

Näätänen(1992)의 연구는 이같은 견해를 지지하고 있다. 이들은 MMN이 차폐(masking)를 통해 제거될 수 있다는 사실을 발견하였다. 이들은 표준음과 이탈음(pitch에서 다른) 양자를 모두 차폐 음(masker tone) 전후에 제시하였다. 차폐 음과 검사 음(test tone) 사이의 시간간격을 증가시키면 MMN에 대한 차폐효과가 점진적으로 감소되었다. 더우기 각 조건 간의 MMN 진폭은 이탈자극을 변별하는 피험자의 능력과 상관을 이루었다.

후속 연구가 MMN이 의존하고 있는 기억이 감각 기억이라는 사실을 지지하든 그렇지 않든 간에, MMN이 자극처리과정에서 초기에 접하게 되는 기억의 작동에 기초하고 있다는 점은 분명해 보인다. 특히 흥미로운 전망은 MMN의 진폭과 잠재기를 조정하는 상황을 검사해 보면 이 기억의 연구와 그와 관련이 있는 부적격 짝맞추기 탐지(mismatch detector)의 작동에 대한 연구가 가능할 것이라는 견해가 늘고 있다는 사실이다. 예를 들면, ISI가 점진적으로 증가하고 MMN이 더이상 유발되지 않는 지점을 결정함으로써, Mäntysalo 및 Näätänen(1987)과 Näätänen, Paavilainen, Alho, Reinikainen 및 Sams(1987)는 그 기억이 불과 몇초간만 지속된다고 추론하였다. 또 다른 관점에서, Winkler, Paavilainen 및 Näätänen(1992)은 기억이 최소한 두개의 다른 흔적을 동시에 공유할 수 있다는 점을 MMN의 출현여부로 결론지었다.

마지막으로, 피험자의 협력을 구하지 않고도 MMN을 얻을 수 있다는 견해(예를 들면, 책을 읽거나 심지어는 자는 동안)와 일차 청각대뇌피질 혹은 그 인접부위의 MMN 생성원(generator)이 국제화(localization)되어 있다는 견해로 보면 MMN의 임상적 이용에 대한 전망은 상당히 밝아 보인다.

2. The MMN and N2

MMN과 연관된 N2는 흔히 유발자극의 확률과 진폭에 반비례하고 그 잠재기는 oddball 패러다임의 표준자극과 이탈자극 사이의 시차의 함수로 다양하게 변한다. MMN과는 대조적으로, N2는 두피 분포

에 있어서 청각 및 시각적 양식 모두에서 특이한 자극 양상을 보이는 것으로 보고되고 있다. 1978년, Näätänen 등은 청각 N2파를 N2a와 N2b 두개의 하위 구성성분으로 분류하였으나 결국에는 MMN이라는 용어가 N2a로 대체되었다(따라서 본고에서는 N2b를 N2라는 용어로 표기할 것이다).

N2와 MMN의 주요 차이점은 (MMN의 초기잠재기 외에, 두 구성성분이 서로 위치가 다르고 동일한 이탈 자극에 의해 유발되었을 때) N2와는 달리 MMN이 나타내는 자동적인 특성에 있다 하겠다. N2와 MMN 간의 그같은 차이는 일련의 선택적 주의 실험들을 통해 Näätänen 등(1978)이 최초로 밝혀냈다. 이 실험에서 주의를 기울이거나 기울이지 않는 oddball 계열(sequence) 양자 모두에서 MMN이 얻어진 반면, N2는 일반적으로 주의를 기울이는 계열(P3에서처럼)에서만 발견되었다. 이와 비슷하게, 단일 oddball 계열을 사용할 때는 피험자가 자극에 주의를 기울이는 무시하는 어떤 조건에서도 MMN이 나타났지만, N2는 일반적으로 피험자가 자극에 주의를 기울였을 때에만 발견되었다. 한 가지 예외적인 경우는 자극에 주의를 기울이지 않은 계열에서 이탈 자극이 N2와 P3을 유발할 수 있는 정위반응(orienting response)을 일으킬 만큼 두드러진 경우이다. 보다 보편적으로 말하자면, N2는 능동적인 주의과정이란 수동적인 과정이란 피험자가 단지 자극에 주의를 기울일 때만 발견된다. 그러나 N2는 피험자가 자극에 주의를 기울인다고 해서 항상 획득되지는 않는다.

MMN과 N2는 보통 함께 유발되는 것으로 알려졌다지만, N2는 단독으로도 야기될 수 있으며, 이로 보아 MMN이 선행되어야 한다는 것이 N2발생의 필수조건은 아니다. N2가 왜 독자적으로 발생할 수 있는 지에 대한 이유는 그것과 관련된 심리적 과정의 차이에서 찾을 수 있겠다. MMN은 가끔 표준 자극과 물리적으로 상이한 이탈 자극에 의해 유발될 수 있다. 이는 N2의 경우와 마찬가지로 되겠다. 일반적으로 ERP 연구에서는 oddball 패러다임들이 활용되고 있기 때문에, 이 두 구성성분은 심심찮게

함께 발견되고 있는 것이다. 그러나 Breton, Ritter, Simson 및 Vaughan(1988)이 지적했듯이, 이탈 자극 또한 간헐적으로 제시되는 자극이기 때문에 물리적인 이탈과 자극의 확률은 일반적인 oddball 패러다임에서 서로 혼재되어 있다. 따라서, N2가 물리적인 이탈 그 자체(MMN과처럼)와 관련되었는지 혹은 P3처럼 기대와 관련되었는지에 대한 의문은 여전히 해결되지 않고 있다.

위에서 언급했듯이, MMN이 자극 순서의 예측 가능성에 영향을 받지 않는다면 Scherg 등(1989)의 연구 결과는 MMN이 기대와는 관련되지 않는다는 점을 시사한다. Ritter, Paavilainen, Lavikainen, Reinikainen, Alho, Sams 및 Näätänen(1992)은 5가지의 서로 다른 pitch들을 각각 20%씩 무작위 순으로 제시하였다. 한 조건에서는 피험자가 음을 무시하고 자신들이 선택한 자료를 읽고 있는 동안 자극이 전달되었다. 다른 조건에서의 피험자의 과제는 음의 pitch가 반복되는 횟수를 세도록 하는 것이었다. MMN은 자극을 무시하거나 수를 세는 조건에서 반복해서 얻어지는 것은 아니었다. 그러나 수를 세는 조건에서는 N2와 P3이 나타났다. 따라서 N2뿐만 아니라 P3도 선행 자극과의 동일성여부와는 상관없이 예상하지 못했던 자극과 연관된다는 사실을 알 수 있다. 그리고 이 두 구성성분은 MMN이 나타나지 않을 때 얻어질 수 있다.

3. N2 and N400

Kutas와 Hillyard(1980)는 일관성이 결여된 방식으로 문장을 종결하는 단어들이 약 400msec(N400) 정도에서 최고 정점을 이루는 음성 구성성분과 관련된다는 점을 밝혀냈다. 이 실험의 원래 의도는 이 문장에 포함된 예상하지 못한 단어들에 의해 유발되는 P3를 연구하는 것이었다. “백락에서 벗어난 단어들이 N400을 유발한다는 발견은 피험자의 기대와 일치하지 않는 자극들은 증가된 늦은 양성적 구성성분(P300)을 유발시킨다는 증거로 보아 일반적으로 기대되지 않은 것이었다(Kutas & Hillyard, 1980, P.204).” 그러므로 위에서 언급했던 다른 음성

적 구성성분과 마찬가지로, N400파는 P3파를 연구하는 도중 우연하게 발견되었던 것이다. 후속 연구들을 보면 N400파가 일관성 없는 단어들을 문장의 맥락에서 제시하는 것과 특별하게 관련된 것이 아니라, 오히려 기대되지 않았거나 예를 들어, 어휘의 결정과제에서의 관계가 없는 일련의 단어들처럼 의미적으로 관련이 없는 단어들과 연관이 있었다(Bentin, McCarthy, & Wood, 1985).

N400파가 자동적으로 유발된다는 것을 보여주는 여러 실험들도 있었다(Bentin, McCarthy, & Wood, 1984; Kutas & Hillyard, 1989). 이들 연구에서 단어들의 의미적 유관성은 피험자에 의해 수행 과제와는 직접 관련이 없지만, 의미적으로는 관련이 없는 단어들은 실제로 N400파를 유발했다. 예를 들면, Bentin 등의 연구는 다섯 단어들의 기억세트에 이루어진 각 시행에서 기억세트에 포함되거나 그렇지 않은 탐사어(probe word) 뒤에 한번에 한 단어씩 시각적으로 제시하였다. 이 과정은 그 탐사단어들이 기억세트에 포함되는지의 여부에 따라 다르게 반응하는 것이다. 기억세트에서 인접한 단어들의 소수 몇 퍼센트만이 의미상으로 연관되어 있고, 피험자들은 이에 대한 정보를 받지 못한다. 의미상으로 연관이 없는 기억세트에 인접한 단어들은 의미상으로 연관되어 있는 기억세트에 인접한 단어들에 비해 증가된 N400파를 유발하였다는 것이 밝혀졌다. 이 실험후에 한 질문에서 피험자들은 기억세트에 있는 단어들이 의미상으로 관련되어 있는 것을 알아차리지 못했거나 또는 만일 알아차렸다면, 의미상으로 관련있는 단어들이 제시된 수를 과소평가하였다고 보고하였다. 따라서 이 결과에 대한 한가지 해석은 피험자가 기억세트 속에 있는 단어들의 의미상의 관련성 여부에 주의를 기울이지 않았고 또한 그들이 그 단어들을 알아채지 못했기 때문에 N400파는 자동적으로 유발된다는 견해이다.

이와 다소 유사한 맥락에서 Ritter, Simson 및 Vaughan(1983)은 N2파가 아마도 몇몇 상황하에서는 자동적인 과정과 연관되어 있을 지도 모른다고 보고하였다. 그들은 단순한 반응시간(RT) 과제에서 각

(angle, <)과 꺾음괄호(bracket, >)를 제시하였는데, 시행의 20%는 각이나 꺾음괄호 하나를 바꾸어 놓았다(예, < 를 >로). 빈도가 낮은 시행들은 N2파와 관련이 있다(뒤따르는 P3파 없이). 각과 꺾음괄호의 전환이 이 과제와 무관하다는 사실이 밝혀짐으로써 N2파가 자동적인 과정과 관련되어 있을 수도 있다는 점이 분명해졌다(N2파는 자극 사이에 차별적 반응들이 요구될 때와 같이 단순한 반응시간 과제에서 동일한 정점 잠재기를 갖기 때문에 이는 N2가 실제적으로 MMN이라는 반응이 된다). 이 결과는 피험자들이 이런 문장들에 대한 기억의 한 후속 테스트를 하기 위해 문장들을 처리할 때 단어의 크기(Kutas & Hillyard, 1980)와 그 단어를 말하는 사람의 성별같은 과제(McCallum, Farmer, & Pocock, 1984)와 관련이 없는 변화에서 P3파를 얻는 것과 유사하다.

이 결과들과는 대조적으로 Deacon, Breton, Ritter 및 Vaughan(1991)은 N2파와 N400파 어느 것도 자동적인 처리과정과 관련된 것 같지 않음을 밝혀냈다. 단어들은 한 번에 하나씩 제시되고 같은 시행에서 이따금씩 단어들의 크기나 의미상의 범주가 변화했다. 한 조건에서는 피험자들이 단어의 크기가 변할 때마다 반응하였고 다른 조건에서는 단어의 의미상 범주가 변할 때마다 반응하였다. 자극의 차원에서 단어의 크기가 관련되었을 때, 이따금씩 단어의 크기변화는 P3파가 수반되는 N2파(약 320msec 정도의 잠재기에서 정점을 가지는)를 유발하였다. 반면 이따금씩 단어들의 의미상 범주의 변화는 N400파나 P3파를 유발하지 않는다. 의미상의 범주와 관련된 자극의 차원일 때, 이따금씩 단어의 의미상 범주의 변화는 P3파가 뒤따르는 N400파(약 400 msec)의 잠재기에서 최고 정점을 이루는)를 유발하였다. 반면에 이따금씩 단어의 크기 변화는 N2파나 P3파를 유발하지 않았다. 결과적으로 이 연구는 위 두 문단에 기술된 이 구성성분을 발견한 결과들과 일치하지 않아 보이는 N2파, N400파 그리고 P3파에 대한 결과들을 밝혀낸 것이다. Deacon 등이 N2파와 N400파가 서로 다른 잠재기를 지닌 같은 구성성분인지에 관해 논란을 야기한 상황은 현재의 논의에는 별로 중요치 않은 것이다.

그보다는 크기에 대한 과제가 수행되었을 때, 단어들의 의미상 범주와 관계없는 변화는 400msec 정도에서 어떤 증가된 음성파도 나타나지 않았다는 사실이 중요하다. 또한 의미상의 과제가 수행되었을 때, 단어의 크기와 관계없는 변화는 320msec 정도에서 어떤 증가된 음성파도 나타나지 않았다는 것이다.

N2과 결과들의 불일치. N2과와 관련하여, Deacon 등(1991)은 Ritter 등(1983)의 단순한 RT 과제에서의 N2의 출현은 그 과제가 너무 쉬워서 피험자들이 이따금씩 제시하는 크기 변화에 주의를 기울였기 때문일 수 있다는 점을 시사하였다. 이와는 대조적으로, 보다 어려운 Deacon 등의 범주화 과제는 가끔씩 크기 변화에 주의를 기울이는 것을 배제할 수 있었다.

N400과 결과들의 불일치. Fishler, Bloom, Childers, Roucos 및 Perry(1983), Bentin 등(1984), 그리고 Kutas와 Hillyard(1989)의 연구에서 N400과를 고려해 보면, 피험자는 주어진 과제를 수행하기 위해서 단어의 의미를 처리하는(process) 것이 필수적인 것이며, 또한 보다 효율적인 것이었다. 예를 들어, Bentin 등(1984)의 실험에서, 과제를 수행하는데 피험자들에게 가장 효과적인 방법은 그들의 의미를 각 기억세트 속에 다섯 단어들씩 처리하고, 그 탐사단어들(기억세트 속에 있는 단어들의 각 문자를 기억에 저장하는 것, 혹은 단어의 의미를 처리하는 것을 요구하지 않는 다른 전략들과 대비하여)과 비교하기 위해 기억에 있는 정보들을 저장하는 것이다. Deacon 등(1991)의 연구에서는 크기 변별 과제를 수행할 때 단어들의 의미를 처리함으로써 어떤 이득도 얻지는 못한다. 더욱이, 피험자들이 단어의 크기에 반응할 때 N400가 나타나지 않았다는 사실은 단어들이 그들의 의미로 처리되지 않을 때 의미상의 점화효과는 얻을 수 없다는 행동연구와 일치하고 있다. 결과적으로 Fishler 등(1983), Bentin 등(1984) 및 Kutas와 Hillyard(1989)의 연구

들에서 N400과의 진폭에 대한 의미상의 점화 효과를 얻는데 필수적인 것은 단어가 그들의 의미대로 처리되는 것이지 단어의 의미상 범주가 과제에 타당한지의 여부는 별로 중요하지 않아 보인다. 이 해석은 단어들로 얻어진 ERP의 반복 효과는 단어가 그들의 의미상 범주로서 처리되는 경우에 비해 문자 자체가 처리될 때에는 보다 작거나(Rugg & Doyle, 1994; Rugg, Furda, & Lorist, 1988) 관찰될 수 없다(Hamberger & Friedman, 1990)는 연구 결과와도 맥을 같이한다.

그러나 최근의 연구에서는, 음성학적 과제(p로 시작하는 단어들의 수를 세는 것)를 수행하는 동안 피험자들에게 문장을 읽어줄 때, 일관성 없는 방법으로 제시된 문장의 끝에 있는 단어들이 N400과를 유발한다는 사실이 밝혀졌다(Woodward, Ford, & Hammett, 1993). 그러므로 단어의 의미를 처리하는 것이 과제 수행에서 어떤 이득을 주는 것은 않을지라도 일관성 없는 단어들은 어쨌든 N400을 유발하게 된다. 그러므로 피험자들은 그들의 의미대로 단어들을 처리해야만 한다. 보다 두드러지게, N400과를 일관성 없게 문장의 끝에 있는 단어들에 의해 유발되게 하기 위해서 피험자들은 개개의 단어를 그들의 의미대로 처리해야할 뿐만 아니라, 또한 문장의 의미를 알아내기 위해서 단어의 의미들간의 관계를 처리해야만 한다.

Woodward 등(1993)의 연구결과들은 위에 열거한 행동연구들과는 물론 Deacon 등(1991)의 결과들과도 모순되어 보인다. Smith(1979)의 연구에서, 피험자들이 점화 단어와 점화된 단어들에서 하나의 문자를 찾는 과제를 수행할 때, RT에서 어떤 점화 효과도 나타나지 않았다. Henik, Speer 및 Kellogg(1983)의 연구에서 피험자들이 문자탐색(letter-search)과제를 수행할 때가 아니라 단어명명(word-naming)과제를 수행할 때 점화 효과의 반응시간이 획득되었다. 반면 Woodward 등(1993)의 연구는 문자탐색 과제 또한 사용하였다. 거기에는 Deacon 등(1991)의 연구, Smith(1979)의 연구 및 Henik 등(1983)의 연구들로부터 Woodward 등

(1993)의 연구를 구별하는데 나타나는 두가지 중요한 요소가 있다. 1) 전자의 연구는 단어들이 청각적인 자극양상으로 제시된 반면, 후자 세 연구들은 모두 단어들을 시각적 자극양상으로 제시하였다. 2) 전자의 연구는 문장을 형성할 수 있는 단어들을 제시했고 후자 세 연구들에서는 그렇지 않았다. Woodward 등(1993)에 의해 사용된 문장들을 분석해 보면, 어떤 관련 요인으로 일관성 없는 문장들이 종종 유머의 요소 때문에 본질적으로 흥미로운 것이 될 수 있다는 것이다(예, “그가 양말을 따끈한 빵에 칠했다(He spread the warm bread with socks)”같은 문장을 고려해 보라). 일단 한 피험자가 일관성 없는 문장중 하나 혹은 두개의 단어를 알아채면, 문장에 대한 주의를 기울이려는 의도를 지닌 것으로 보인다.

P3과 결과들의 불일치. 자극들의 과제와 관련이 없는(task-irrelevant) 물리적 변화에 따른 P3과에 대한 Deacon 등(1991), Kutas와 Hillyard(1980) 그리고 McCallum 등(1984)의 연구결과들을 비교해보면 서로 다른 결과를 어떻게 해석해야 하는지 명백하지 않다. Deacon 등(1991)의 연구에서 단어의 크기와 관련이 없는 변화는 P3를 유발하지 않는다. 반면에, Kutas와 Hillyard(1980)의 연구에서는 단어의 활자와 관련이 없는 변화가 P3과를 유발시켰다. 그리고, McCallum 등(1984)의 연구에서는 단어를 말하는 목소리의 절과 관련이 없는 변화가 P3를 유발하였다. McCullum 등(1984)이 음성단어(spoken words)들을 사용한 반면, Deacon 등(1991)과 Kutas와 Hillyard(1980)의 연구는 시각 자극을 사용하였기 때문에 이때 사용된 감각양상은 아무런 해답이나 단서도 제공할 수 없다. 이 연구들간의 차이는 Kutas와 Hillyard(1980)의 연구와 McCallum 등(1984)의 연구에서 자극의 물리적인 변화가 일관성 없는 몇몇 문장들을 만드는 단어들로만 되어 있는 문장의 맨 마지막(7번째) 단어에서 역시 일어났다는 것이다. 따라서 피험자들은 이 문장 중에서 다른 단어들 보다는 이 단어들에 더욱

주의를 기울였을지도 모르고, 또한 그 결과 예상치 않았던 일곱번째 단어의 어의상 의미와 물리적 변화들 둘다 모두 주목하는 것에 맞추어 보려고 하였을 것이다. Deacon 등(1991)의 연구에서, 관련이 없는 크기의 변화는 시행중 내내 무작위 순으로 제시되었다. 따라서 N2과, P3과 그리고 N400과는 피험자들이 관련된 자극의 차원에 주의를 기울일 때 유발되는 것 같고 그 어느 것도 자동적으로는 유발되지 않는 것으로 보인다.

관련자극들의 차원 중 무엇이 주의를 기울이는 것을 구성하였는지에 대한 문제는 보다 더욱 정교한 분석이 요구된다. 두 개의 oddball 계열들이 선택적 주의과정 동안 동시에 제시될 때, 주의를 기울이지 않은 계열에서의 이탈자극은 심지어 이탈자극이 주의를 기울이는 계열에서의 이탈자극처럼 동일한 방법으로 이탈되었을지라도 일반적으로 N2과나 P3과를 유발시키지 않는다. 반면에, Roth, Ford 및 Kopell(1978)은 만약 단일 oddball 절차가 같은 차원에서 표준자극과는 다른 두 개의 제시될 확률이 동일한(10%) 이탈자극을 포함한다고 하면(예를 들면, 한 이탈자극은 pitch에서 표준자극보다 더 높을 수 있고, 다른 이탈자극은 동등하게 pitch에서 더 낮을 수 있다), 그리고 하나의 이탈자극이 표적 자극으로 지정되고 다른 하나의 이탈자극은 비표적 자극으로 지정되었다면, 이 두 이탈자극들은 모두 P3를 유발할 것이라는 사실을 발견하였다. Näätänen 등(1982)은 기본적으로 유사한 자극 배열을 사용하여, N2뿐만 아니라 P3도 표적 이탈자극과 비표적 이탈자극에 의해 유발된다는 것을 보여줬다. 이중 oddball 자극 배열에서, 관련이 없는 계열에서 N2과와 P3과가 나타나지 않는 것은 이런 자극에 최소한의 주의를 기울이는 것과 관련되어 있고, 관계가 있는 계열에 이런 구성성분들이 출현하는 것은 이런 자극들에 주의를 기울이는 것과 연관되는 것 같아 보인다. Roth 등(1978)의 연구에서, 피험자들은 어떤 pitch의 변화라도 알아차릴 수 있는 방법을 사용했거나(pitch변화의 절반은 표적자극이었기 때문이었다), 또는 자극에 주의를 기울이

는 계열에서 드물게 제시되는 어떤 pitch라도 P3를 유발할 것이라고 하였다(피험자들은 pitch의 변화를 알아차리지 않을 수 없다). 그러나, 만약 관련이 있는 계열이 두개의 다른 물리적 차원에서 표준자극과는 다른 이탈자극을 포함한다면(예를 들어, 이탈자극 중 하나는 pitch에서 다르고, 다른 이탈자극은 표준자극들로부터 강도가 다르다), 그리고 이탈자극 중 하나는 표적자극이고 다른 것은 표적자극이 아니라면, 이 두 이탈자극들은 모두 N2와 P3를 유발시킬 수 있다(Näätänen, 1992). 이 결과들을 해석함에 있어 유사한 모호성은 Roth 등(1978)의 연구에서와 마찬가지로이다. 즉, 피험자는 주어진 어떤 자극의 변화라도 표적자극이 될 기회를 50%정도가졌기 때문에 어떤 자극의 변화라도 알아차리는 방법을 사용하는 것일 수 있고, 또는 주의를 기울이는 계열에서 어느 드문 변화라도 P3를 유발할 수 있을 것이다(예: 피험자들은 그것을 알아차리지 않을 수 없다). 이탈이 생기는 두가지 방식은 다른 자극 변수치(parameter)들 때문에, 이 방법의 해석은 다소 덜 그럴 듯하게 보인다 (pitch의 변화가 표적자극일 때, 강도의 변화는 결코 표적자극이 될 수 없다). 어느 경우라도, 이 연구들에서 P3과는 자극의 변화가 표적자극이 되는 그렇지 않은 간에 주의를 기울이는 계열에서 이따금씩 변하는 자극에 의해 유발되고 있다. 이와 대조적으로, Deacon 등(1991)의 연구에서 단일 oddball 계열은 피험자가 단어들의 크기와 의미상 범주의 자극들 중 어느 것을 처리하느냐에 의해 N2와 P3 또는 N400과 P3를 유발한다는 사실을 회상해 볼 수 있다. 후속 연구에서, 피험자들은 과제를 수행하기 위하여 모든 자극에 주의를 기울여야만 한다. 그래서 자극에 주의를 기울이는 것은 필수적인 것 같이 보이나, 논의되고 있는 구성성분을 유발하기에는 충분한 근거가 있는 것 같지는 않다. 지금까지 개관한 자료들은 피험자가 자극의 물리적 변화에 주의를 기울일 때, 주의를 기울인 자극에서의 어떤 물리적 변화라도 N2와 P3를 유발할 수 있다는 것을 시사한다. 반면에 물리적인 변화에 주의를 기울일 때, 자극의 의

미상 범주의 변화는 N400과 P3를 유발시키지 않았다. 의미상 범주에서의 변화에 주의를 기울일 때, 물리적 변화 그 자체는 N2와 P3를 유발시키지 못한다(이때, 물리적 변화 그 자체는 Kutas와 Hillyard(1989) 그리고 McCallum 등(1984)의 연구에서 피험자들이 의미를 알기 위해 문장을 처리할 때 물리적인 변화에 의해 P3를 획득했기 때문에 사용되었다). 그러므로 자극에 주의를 기울이는 것은 대개 N2, N400 및 P3를 유발하기 위해 필수적으로 필요한 것이다. 그러나 어떤 자극들이 이런 구성성분을 유발할 것이라는 자극의 어떤 양상에 주의를 기울였느냐에 의존하고(물리적 또는 의미상으로) 아마 감각 양상과 자극이 제시되는 방법에도 의존할 것이다. 예로, 자극들이 문장을 이루는지 아닌지(그리고 아마 특히 흥미있는 문장인지)에 의존한다.

흥미를 자아내는 기대되지 않은 결과들이 이전에 기술되었던 자극 양상들 사이의 선택적 주의에 관한 Alho 등(1992)과 Woods, Alho 및 Algazi(1992)의 연구에 포함되었다. 작고 큰 이탈자극들이 청각과 시각 자극 모두에 포함되었다. 청각 자극양상에서, 표준자극은 1000Hz였고, 이따금씩 제시되는 이탈자극은 1050Hz와 1500Hz였다. 시각 자극양상에서, 간혹 제시되는 이탈자극은 높이가 격자무늬의 표준자극(폭 13.9° × 높이 4.4°)보다 약간 짧거나(작은 이탈자극 -시각 3.9°) 매우 짧았다(큰 이탈자극-시각 2.9°). 피험자들은 하나 또는 다른 감각양상에 주의를 기울였고 주어진 상황 아래에서 주의를 기울인 감각양상에서 이탈자극 중 하나에 반응했다(전체 네개의 조건을 만들어서, 이 각 이탈자극 중 하나가 표적자극이다). 이 두 감각양상(청각과 시각)중에서 큰 이탈자극은 피험자들이 제시된 감각 양상에 주의를 기울이는 동안 그것이 표적자극이든 그렇지 않은 간에 P3를 유발한다는 것은 놀라운 일이 아니다(Roth 등, 1978과 Näätänen 등, 1982의 결과와 비교해서). 그러나 이 두 자극양상에서 작은 이탈자극은 동일한 감각양상의 보나 큰 이탈자극이 표적이 될 때 P3를 유발시키지는 않는다. 특히 1500Hz 이탈자극이 표적자극일 때,

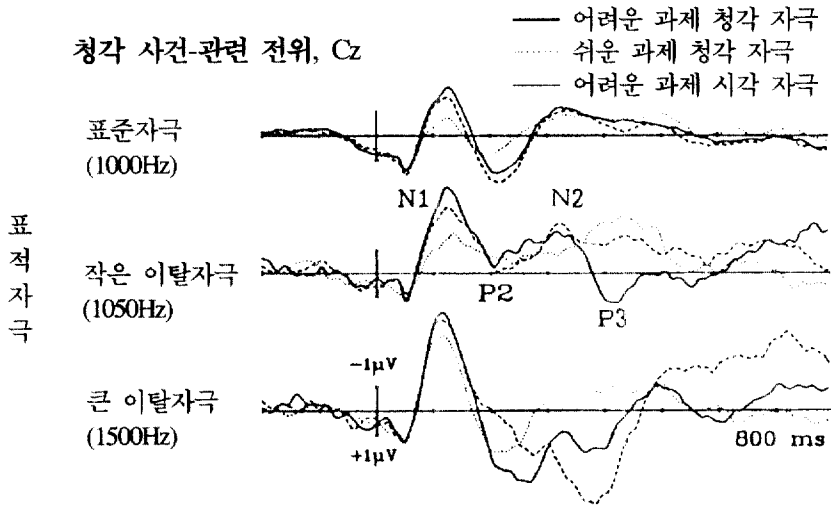


그림 3. Cz에서 표준청각자극, 작은 이탈 청각자극 및 큰 이탈 청각자극의 전체평균 ERP. 큰 이탈자극은 쉬운 청각조건에서 표적 자극이었고 작은 이탈 자극은 어려운 청각조건에서 표적자극이었다(Alho et al., 1992)

1050Hz 이탈자극은 N2나 P3를 유발시키지 않는다(그림 3). 따라서 유사한 결과들이 시각자극에서 획득되었다. 만약 비표적자극인 이탈자극이 표적자극 바로 직전 시행에서 제시되면, 표적 이탈자극과 동일한 감각양상으로 된 비표적 이탈자극은 유의미하게 수행에 손상을 입혔다(이때 옳은 답의 비율(hit rate)은 90%에서 약 50%로 떨어지고 RT는 증가한다). 이 결과들은 작은 이탈자극이 표적자극이 될 때와 동일한 감각자극양상의 큰 이탈자극이 선행되었을 때, 특히 후자자극(작은 이탈자극)이 N2와 P3를 유발시키기 때문에 놀랄만한 것이 아니다. 그러나 큰 이탈자극이 표적자극이고, 그것이 N2나 P3 중 어떤 것도 유발시키지 않는 같은 감각양상의 작은 이탈자극에 의해 선행될 때 동등하게 손상되었다. 이탈자극이 표적자극(그림 3에서 1050Hz 이탈자극)일 때, P3를 유발시킬 수 있는 이탈자극이 그 자극에 주의를 기울일 지라도 이탈자극이 표적자극이 아닐 때, P3파를 유발시키지 않는 것은 놀라운

일이다(다음장에 논의될 표준자극, 작고 큰 이탈자극들은 모두 선택적 주의의 ERP 목록들과 어느 이탈자극이 표적자극이 되느냐와는 상관없이 관련되어 있다). 이 연구에서, 크고 비표적자극인 이탈자극이 주의를 기울이는 감각양상일 때, 피험자들이 그것에 주의를 기울이지 않을 수 없기 때문에 P3를 유발한다는 것이 밝혀졌다. 반면에 이것은 작은 이탈자극에서는 다르다. 그러므로 후자 연구결과들은 Roth 등(1978)과 Näätänen 등(1990)의 연구에서 피험자들이 비표적 이탈자극에 주의를 기울이지 않을 수 없기 때문에 비표적 이탈자극들에 의해 P3가 유발된다는 가설을 지지한다고 볼 수 있다.

IV. 처리과정 음성파 (Processing Negativity: PN)

1960년대 초기, 연구자들은 ERP가 선택적 주의 과정과 상관되어 있는지의 여부를 밝히려 했다 (Haider, Spong, & Lindsley, 1964). 이같은 시도는 P3에 관한 보고가 처음 발표되기 전에 시작되었기 때문에, 선택적 주의에 관한 연구는 P3연구와 같은 맥락에서 연구되지는 않았던 것이다. 여러번의 실패 끝에, Hillyard Hink, Schwert 및 Picton(1973)은 마침내 신뢰할 수 있는 선택적 주의 효과들을 관찰할 수 있는 실험적인 패러다임을 고안해냈다. 그들의 성공에 대한 열쇠는 피험자들이 번갈아 가면서 각 계열에 주의를 기울이는, 서로 독립적인 두개의 혼합된, 청각 oddball 계열을 사용한 점이다. 환원하면, 이 발견들은 이제껏 논의한 다른 구성성분과 같이 우연한 발견에 의해서가 아니라, 선택적 주의의 ERP목록을 찾기 위한 여러 실험실들의 공동 노력의 소산이었다. 주의를 기울이는 계열에서 표준음과 연관된 ERP에서 관련이 없는 자극 계열에서 표준음과 연관된 ERP를 감한 것(주의를 기울이는 계열에서 표준음의 ERP - 비관련 자극 계열에서 표준음의 ERP = Nd파)을 Hansen과 Hillyard(1980, 1983)이 Nd파라고 명명하고 선택적 주의 효과를 기술하였다. MMN을 처음 보고한 동일 논문에서 Näätänen 등(1978)은 ERP들에 대한 선택적 주의의 중요한 효과는 N1과 P2 구성성분 사이에 걸쳐 있고 그 구성성분을 지나 장기간 지속되는 처리과정 음성파(Processing Negativity: PN)라는 뇌파를 발견하였다. 후속 연구에 따르면, Nd의 사기의 진폭은 유관자극계열과 연관된 PN과 무관자극계열과 연관된 PN 사이에 다른 차이를 반영하고 있다 (Hansen & Woldorff, 1991).

Hansen과 Hillyard(1980)는 두 자극계열간의 차이가 적어지면(이 연구에서, pitch), Nd파의 정점 잠재기는 더 길어진다는 점을 발견하였다. 그러나 이 조건들간에 표적 이탈자극들에 대한 RT에서는 유의미한 차이를 보이지 않았다 (이탈자극이 표준

자극보다 길다. 지속기간에서, 표준자극은 51msec, 그리고 이탈자극은 102msec이다). P3의 정점 잠재기 또한 일관되게 변하지 않았다. 이같은 일관된 RT는 자극계열(pitch)들을 분리하는 단서의 처리가 한 자극계열(자극 지속기간)내에 있는 표준자극과 이탈자극을 분리하는 단서와 마찬가지로 병렬적으로 일어남을 시사한다. 전자의 변별에 비해 후자의 변별은 방해받기 때문에(이탈자극이 표준자극으로부터 변별될 수 있으려면, 표준자극 제시후 최소한 51msec 경과한 후 이탈자극을 제시하여야 한다), 이것은 음의 pitch 변별을 요하는 시간상의 증가가 RT를 증가시키는 결과가 아닌 것 같은 비율-제한 단계(rate-limiting step)를 구성하고 있음을 시사한다. 이와 같은 해석은 네가지 서로 혼합된 oddball 계열을 사용한 Hansen과 Hillyard(1983)의 연구에 의해 지지를 받고 있다. 계열들 중 두 계열은 한쪽 귀에 제시되고(하나는 높은 pitch이고 다른 하나는 낮은 pitch) 다른 두 계열은 반대쪽 귀에 제시되었다(다시금, 하나는 높은 pitch이고 다른 하나는 낮은 pitch). 각 계열안에 삽입한 것은 선행 연구와 마찬가지로 지속기간이 긴 이탈자극이었다. 피험자들의 과제는 주어진 pitch와 위치의 음에 주의를 기울이는 동안 지속기간이 긴(표적자극) 음이 제시될 때마다 버튼을 누르는 것이었다. 한 피험자의 집단에서는 pitch와 위치의 변별이 쉬웠고, 두번째 집단에서는 pitch의 변별은 쉬웠으나 위치 변별은 어려웠다. 세번째 집단에서는 위치 변별은 쉬웠으나 pitch 변별은 어려웠다.

네가지 자극 계열과제가 전달될 때 그리고 계열 단서들 간의 하나는 변별하기가 쉬웠고(pitch), 계열들간의 다른 단서는 변별하기가 어려웠을 때(위치), 쉬운 변별과 관련된 초기 Nd파를 지나 지속되는 힘든 변별과 관련된 Nd가 나타났다. 그러나 이것은 쉬운 변별 음이 표적이 되는 기준 중의 하나를 충족한 경우의 시행들에서만 그러하다. 쉬운 변별이 음의 기준 중 하나를 실패한 것이라고 지적할 때(예: 그것은 관련이 없는 위치나 pitch에서 생긴다)와, 그런 고로 그것이 표적이 될 수 없을 때에

후기 Nd는 종결시키게 된다. Hansen과 Hillyard(1983)는 쉬운 변별이 자극의 표적기준 중의 하나를 가졌다는 신호를 하였을 때, 피험자들은 어려운 변별의 분석을 끝마친 것이라고 제안했다. 그러나 쉬운 변별이 자극이 표적의 기준 중 하나를 충족시키지 못하였다고 신호하였을 때(고로, 표적이 될 수 없다), 어려운 변별에 대한 분석은 종결되게 된다. 더우기, 관련된 절차에서 이탈(긴 지속 시간)음들은 P3를 유발시키는 반면에, 세계의 관련이 없는 계열 내의 이탈음은 P3파를 작게 유발하거나 혹은 거의 유발시키지 못했다. Hansen과 Hillyard(1983)는 뇌에는 각각 뒤이어 일어난 사건의 활동이 선행사건의 결과 여하에 따라 달라지는 위계적 조직이 존재한다고 결론을 지었다.

초기의 연구(Hansen & Hillyard, 1980)에서와 같이, 각 조건들 간의 RT에 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 음들의 모든 관련된 특징들은 병렬적으로 처리되고(첫째 계열 단서들 사이의 처리과정과 그리고 그후 계열단서내의 처리과정을 대조해서 보았을 경우), P3의 잠재기는 자극이 표적이 되는 모든 기준을 충족시키는 지를 최종적으로 결정하는 것과 연관된다는 것을 제안했다. 자극 지속기간의 변별이 rate-limiting step을 결정짓는다는 것, 또는 Hansen과 Hillyard(1983)가 “표적 식별의 병목(the bottle-neck in target identification)”이라고 부른 것에 대해 다시 재고해 볼 필요가 있다. 이 논제는 다음 장에서 논의될 것이다.

V. 단일 oddball 계열과 이중 oddball

계열의 비교

주의를 기울이는 것과 관련해서 유사한 효과를 지닌 단일 혹은 이중 oddball 계열들에서 대체로 유사한 구성성분들이 유발된다. MMN은 자극에 주의 기울이지 않는 여부와 관계없이 이탈자극에 의해서만 유발되고, N2와 P3는 대개 주의 기울인 절차에서만 발생한다. 그러나, 이와 같이 서로 다른 결과들을 얻게 되는 다양한 방법들이 있다.

처리과정 음성파(PN). 단일 oddball 절차에서 주의를 기울이거나 무시하는 조건들간에 표준자극의 ERP들을 비교할 때, 일반적으로 Nd가 관찰되지 않았다(Ritter et al., 1992). N1과 P2는 증가된 각성에 기인할 가능성이 있기 때문에 무시하는 조건에서 보다는 주의를 기울이는 조건에서 종종 더 크게 나타난다(Picton, Campbell, Baribeau-Braun, & Proulx, 1978). 그러나, 이것은 단일 oddball 계열에서 표준자극과 이탈자극 사이를 능동적으로 변별할 때 피험자가 자극에 주의를 기울이지 않으면 안되기 때문에, PN이 본질적으로 주의를 기울이는 그 자체와는 연관되지 않는다는 점을 명백하게 했다. 이 결과가 왜 유의미한지에 대한 또다른 이유는 PN이 왜 피험자가 자극에 주의를 기울일 때 MMN과 뒤에 N2와 P3파가 유발되고, 피험자들이 자극에 주의를 기울이지 않을 때는 유발되지 않는지에 대한 설명에 도움을 주는 뇌의 활동이기 때문이다. 네가지 혼합된 oddball 계열들을 사용한 실험에서 Hansen과 Hillyard(1983)는 쉬운 계열 변별간의 Nd, 보다 어려운 계열 변별 사이의 후기 Nd, 그리고 P3 사이에 위계적 관계가 존재한다고 결론을 지었다. 만일 첫번째가 표적기준을 충족하지 않으면 다른 두가지 모두 발생하지 않는다. 만일 첫번째가 표적기준을 충족시켰다면, 두번째가 발생한다. 그러나 만일 두번째가 표적기준을 충족시키지 않는다면 P3는 발생하지 않는다. 즉, 처음 두 구성성분의 뇌활동이 표적기준을 충족시키는 자극 양상에 대한 확인과 연관되었을 때는 단지 P3만 발생한다는 것이다. 그러므로 가장 초기의 PN의 기본적인 뇌활동(계열단서 사이에서 쉬운 것과 연관된)은 오랫동안 지속되는 PN(보다 어려운 계열 변별간에서 연관된)이 발생할지의 여부를 결정하는 예언력이 있어 보이고, P3의 발생 여부를 결정할 수 있는 양자모두의 기본적인 뇌활동에 대한 결정능력이 있는 듯하다. “따라서 초기의 선택은 관련이 없는 재발 내의 재료를 처리하는 것을 감소시키거나 방해하는 것 같아 보이는 Nd에 의해 표현된다(Hillyard & Picton, 1987, P.38).” 결과적으로, PN은 자동적 반

응인 MMN뒤에 일반적으로 그들의 유발에 주의의 기울이는 데 의존하는 N2파와 P3파의 후속출현 여부를 결정하는데 역할을 한다. 그러나, 이 가설은 변별 조건동안 단일 oddball 계열에 대한 PN이 나타나지 않는다는 사실에 비추어 설득력이 다소 부족하다. 즉, PN의 기본적인 뇌활동은 MMN과 뒤의 N2와 P3의 후속여부에 필수적인 것은 아니다. 반면에 PN의 기본적인 뇌활동이 N2와 P3의 유발을 꼭 수반할 필요는 없지만, 그들의 유발을 차단하는 역할은 할지도 모른다.

N2 구성성분. Alho, Sams, Paavilainen, Reinikainen 및 Näätänen(1989)은 최근에 선택적 주의과 정동안 이중 oddball 계열에서 N2가 전혀 관찰되지 않는다는 사실을 발견하였다. 관련된 계열과 관련이 없는 계열 모두에서의 이탈자극은 MMN을 유발하였다. 그러나 MMN과 관련이 있는 계열에서 뒤이어 일어난 P3과 사이에는 부가적인 아무런 음성파도 발생하지 않았다. Alho 등(1989)은 이와 유사한 결과들이 Näätänen 등(1978; 1982)의 도표들에서도 발견될 수 있다고 지적하고, "선택적 주의 과제에서, N2는 이중 또는 다중 채널에서 보다는 한개 채널의 oddball 과제에서 이탈 자극에 의해 보다 쉽게 유발되는 것 같아 보인다"고 기술하고 있다. 그러나 그에 대한 이유로는, 특히 왜 N2가 선택적 주의 과제에서 사용하는 소수의 이중 oddball 계열에서 나타나고 다른 것에서는 나타나지 않은지에 대한 원인이 해명되어야 하기 때문이다. 한가지 흥미로운 사실은 단일 oddball 계열에서 나타나는 정보처리 단계의 가능성은 이중 oddball 계열에서의 유사한 변별에서는 나타나지 않는다는 점이다.

P3와 초기 음성 구성성분의 잠재기. 이중 oddball 계열을 사용한 선택적 주의과제에서, Hansen과 Hillyard(1983)가 P3는 한 자극이 표적이라고 판단하는 최종적인 결정과 연관되어 있다고 제안했던 사실을 상기할 수 있을 것이다. 이는 표준자극과

이탈자극 사이의 계열내부(within-sequence)의 차이가 동일할 때, 단일 oddball 계열에서 보다는 이중 oddball 계열에서 P3의 잠재기가 더 길어야만 한다는 추론을 가능하게 한다. 그 이유는 한 변별이 단일 계열에서 수행될 때, 이탈자극의 감지는 표적을 확인하는 데 필요한 모든 정보를 제공하기 때문이다. 이와 대조적으로 이중 oddball 계열을 사용하는 선택적 주의 과제에서 표적을 확인하기 위해서 계열내의 정보와 아울러 계열간의 정보를 조합해야 할 필요가 있다. Hansen과 Hillyard(1980)의 연구에서, 이것은 하나의 계열간의 단서와 하나의 계열내의 단서를 포함하는 반면, Hansen과 Hillyard(1983)의 연구에는 두개의 절차간 단서들과 하나의 절차내 단서를 포함하였다.

표 1은 서로 다른 두개의 실험에서 얻은 자료를 제시한 것이다. 한 연구(Novak, Ritter, & Vaughn, 1992a)에서 단일 oddball 계열을 사용하는 변별과제에서, 음의 80%는 100msec동안 지속되는 자극이었고, 음들의 20%는 무작위 순으로 170msec동안 지속되는 자극이었다. 피험자들은 보다 긴 기간동안의 음이 나타날 때마다 반응하도록 요구받았다. 다른 연구에서(Novak, Ritter, & Vaughan, 1992b), 같은 자극지속기간의 변별이 이중 oddball 계열을 사용한 선택적 주의 과제에서 자극내 계열의 변별이 사용되었다. 자극간의 계열 단서는 pitch였다. 쉬운 조건에서, 같은 확률로 1000Hz와 2000Hz의 음들이 제시되었고, 보다 어려운 조건에서는 같은 확률로 1000Hz와 1030Hz의 음들이 제시되었다. 이 다양한 음들의 전체적인 퍼센트는 표1에 제시되어 있다.

MMN, N2와 P3는 두가지 실험 조건 모두에서 거의 같은 잠재기를 가졌다. MMN, N2, 그리고 P3의 거의 동일한 평균 잠재기 수치와 자극지속기간의 차이는 모두 세 조건에서 거의 같은 시간이 걸렸다는 것을 시사한다. 이런 자료들은 Hansen과 Hillyard(1983)의 연구가 지지하듯이, 자극지속기간의 처리과정이 이중 oddball 계열에서 pitch를 처리하는 것과 병렬적으로 일어났다는 것을 시사한다.

표1. 단일계열과 이중oddball계열에서 MMN, N2, P3및 RT의 평균잠재기(msec).

Hz	자극제시%	자극지속기간(msec)	MMN	N2	Nd	P3	RT
단일 oddball 계열							
1000	80	100	197	274		432	390
1000	20	170					
쉬운과제 이중 oddball 계열							
1000	40	100	177	262	267	400	512
1000	10	170					
2000	40	100					
2000	10	170					
어려운과제 이중 oddball 계열							
1000	40	100	186	265	352	421	514
1000	10	170					
1030	40	100					
1030	10	170					

그러나 단일 oddball 계열의 RT와 비교하여 이중 oddball 계열의 RT에서 나타난 큰 증가는 후자 계열(이중 oddball)이 그 자극이 하나의 표적이라는 최종적인 결정을 반영하지는 않는다는 것을 시사하는 P3의 잠재기 변화의 소실과 일치하였다. "P3b의 잠재기는 자극평가의 어떤 하위체계만의 자극지속기간을 반영한다"고 지적한 Wijers, Otten, Feenstra, G. Mulder 및 L. Mulder (1989)의 선택적 주의과제 연구에서도 유사한 결론이 나왔다.

이중 oddball 계열과제의 RT에 비해 단일 oddball 계열과제의 RT가 증가하는 것은 아마도 표적자극을 규정짓는데 필요한 정보의 두가지 관련된 자료를 함께 맞추는 데 필요한 시간과 관련이 있다. Triesman과 Gelade(1980)는 주의-의존(attention-dependent) "결합조작(Conjunction operation)"이 자극 양상이 분리된 차원일 때, 독립된 자극양상 분석이 뒤따른다고 제안하고 있다. 통합과 달리 분리할 수 있는 차원들인가에 관한 기준은

하나의 차원을 처리하는 것이 다른 차원을 처리하는 것의 영향을 받지 않는다는 것이다. 관련연구들에서, 자극계열간의 양상(Pitch)과 계열내의 양상(자극지속기간)이 하나의 차원으로 변경하는 것은 (pitch 변별에서 쉽거나 어려운 과제는 물론 자극의 존재나 부재) MMN, N2 또는 P3의 잠재기에 아무 효과도 주지 않기 때문에 분리할 수 있는 차원인 것처럼 보인다. 이와 대조적으로 pitch 변별의 어려움은 Nd의 정점 잠재기에 영향을 주었다. 쉬운 oddball 계열과제와 어려운 이중 oddball 계열과제에서 RT의 차이가 없는 것은 Hansen과 Hillyard(1983)의 RT 결과와 비슷했다. 그러나 이 자료는 자극 지속기간의 변별이 표적확인(비율제한 단계(rate-limiting step)를 설정한다는 견해를 지지해 주지는 못하는 것 같다. 어려운 이중 oddball 계열조건에서, MMN과 N2의 두 정점 모두는 Nd의 정점에서 100msec 이상 앞서 나타난다. 쉽고 어려운 이중 oddball 과제 사이의 RT 변화의 소멸은 쉬운 조건에서 보다는 어려운 조건에서 정

답을 맞추는 퍼센트(percentage of hit)가 감소하고, 오경보의 수는 증가하기 때문에, 정확성의 댓가로 빠른 속도를 요구받게 되는 피험자 때문일 가능성이 있다.

VI. 서파(Slow Waves, SW)

1. 초기 발견들

서파(SW)활동은 표준 청각자극과 표적 청각자극들이 무작위 순으로 제시될 때 피험자들이 표적 청각자극들의 수를 세도록 요구하는 실험에서 Squires 등(1975)이 최초로 보고하였다. 그들의 연구 논문은 P3가 단일 구성성분이 아니라: 점을 밝히는 데 초점을 두었다. 그들은 P3파가 겹쳐져 있는 두개의 구성성분(P3a와 P3b)으로 나뉘어질 수 있으며, 두 구성성분은 뇌의 국소적 분포(topography) 상으로나 기능적 행동면에서 동일하지는 않다고 보고하였다. 그들은 또한 P3 복합체에 뇌의 뒤쪽에서는 최대로 양성적이고, 뇌의 두정(vertex) 부위에서는 작고, 앞쪽에서는 음성적으로 나타나는 서파가 뒤따른다는 것을 밝혀냈다. 비록 뇌에서 서파가 국소적 분포에 있어서는 P3b와 다를지라도, 자극활력에 관한 그들의 기능적 행동과 자극에 주의를 기울였는지의 여부에 있어서는 P3b와 유사하였다(낮은 확률의 표적자극에서는 진폭이 크고 주의를 기울이지 않은 자극에서는 나타나지 않았다). 서파 활동의 출현은 Squires 등(1975)의 실험과 유사하게 고안된 후속 실험에서도 기록되었다. 그러나, 서파와 P3가 밀접하게 상관되어 있었기 때문에 서파에 대한 어떤 새로운 정보도 제공하지는 못했다. 따라서 비교적 적은 주의가 그것에 기울여졌던 것이다(Donchin, Ritter, & McCallum, 1978).

서파 활동과 P3의 불일치에 대한 증거는 go/no-go 반응시간(RT) 패러다임에서 Roth 등(1978)에 의해 최초로 보고되었다. P3와 이에 뒤따르는 양성 서파는 확률에 의해 같은 방법으로 영향을 받았으나, RT와는 반대관계를 가졌다. 보다 작

은 P3파들과 큰 서파들은 보다 긴 RT에 연관되었다. Roth 등의 발견은 보다 긴 RT는 피험자들이 과제를 수행하는 데 보다 큰 어려움을 경험하였다는 것을 시사하기 때문에 서파활동이 과제요구와 직접적으로 연관되어 있다는 것을 제안하였다.

2. 지각적 요구와 양성 서파

서파와 과제요구의 타입 및 수준간의 관계는 신호탐지와 인지실험에서 보다 명백해졌다(Kok & De Jong, 1980; Parasuraman, Richer, & Beatty, 1982; Ruchkin, Sutton, & Stega, 1980a; Ruchkin, Sutton, Kietzman, & Silver, 1980b). Ruchkin 등(1980a, b)의 두 실험에서 보고된 서파의 발견은 우연이었다. 이들은 신호탐지과제와 예측과제에서 나타나는 P3의 차이들을 연구하고 아울러 올바른 거절과 오경보 시행에서 나타난 P3파들을 탐구하기 위해 이런 실험들을 설계한 것이었다. 첫번째 연구에서, 그들은 탐지와 예측에서 P3간의 명백한 차이는 과제의 함수로서 뇌의 국소적 분포가 변하는 뇌의 뒤쪽 양성 서파의 시작부분과 중첩되는데 기인되는 반면, P3는 이런 과제사이에서 유의미하게 변하지 않는다는 점을 발견하였다. 두번째 연구에서, 과제는 역치에 가까운 click 소리를 감지하는 것이고, 탐지가 점점 어렵게 됨에 따라 P3진폭이 보다 후기 잠재기에서 중앙-두정엽(centro-parietal)의 서파활동이 보다 양성적으로 되는 동안 감소되었다. 이런 과제요구의 어려운 수준이 증가됨에 따라 P3파 후(post P3)의 서파의 증가는 Ruchkin 등(1980a, b)이 P3를 반영하는 서파를 넘어서 증가된 과제요구와 관련된 추후 과정과 연관되어 있다고 가정하도록 하였다.

Kok과 De Jong(1980)과 Parasuraman 등(1982)에 의한 연구들은 더 나아가 지각과제 요구에 대한 반응에서의 추후 처리를 반영하는 post-P3의 서파활동의 구성을 확장하고 지지하였다. Kok과 De Jong은 자극들이 완전(intact)하거나 불완전(degraded)한 철자로 된 시각 변별과제를 사용하였다. 불완전한 자극을 제시했을 때 양성 서파활동이 중

양-두정엽 두피 위에서 보다 컸다. 과제에 시각패턴재인이 포함될 때 과제 요구의 증가와 더불어 서파 활동이 증가하는 점 외에도 Kok와 De Jong의 연구는 난이도 수준이 매 시행마다 무작위 순으로 변화하기 때문에 서파 효과에 대한 설명으로서 차별적 준비는 제외되었다. Ruchkin 등의 실험들에서 구획설계(blocked design)들을 사용한 것은 중요한 것이었다. 진폭이 자극이전의 기저선을 준거로 측정된 것이기 때문에, 자극이전(pre-stimulus)의 음성성의 차이가 쉽거나 어려운 시행들의 준비에서의 차이와 연관된다는 것은 그들의 자료에서 자극 후(post-stimulus)의 양성적 차이에 기여할 가능성이 있어 보인다.

Parasuraman 등(1982)은 탐지와 재인 모두를 사용하였다. 피험자들은 역치에 가까운 음이 제시되었는지의 여부(탐지)와 그것의 빈도를 확인하도록(재인-두가지 빈도가 첫번째 실험에서 사용되었고 네가지 빈도가 두번째 실험에서 사용되었다)하였다. 보다 확실한 탐지에서는 조기의 N100 구성성분은 크게 나타났지만, 재인정확도와는 관계가 없었다. P3는 탐지에서 확신이 증가할 때와 음이 정확하게 재인될 때 보다 크게 나타났다. 중앙-두정엽의 후기 서파는 음이 정확하게 재인될 때 보다 양성적이었지만 탐지의 확신으로 유의미하게 변하지 않았다. Parasuraman 등의 ERP자료는 탐지와 재인으로서 중첩되어 진행된다는 것을 지적했고 더 나아가서 처리과정이 어려운 시각요구(역치에 가까운 자극)가 자극양상의 재인의 범위에 있을 때 서파에 의해 반영된다는 것을 제안하였다.

이 연구들은 P3에 뒤따르는 기간에서의 양성 서파활동이 중앙-두정엽 두피 위에서 최대치는 어려운 시각과정과 연관된다는 것을 보여줬다. 이런 연구들이 수행되고 있을 때 그러한 서파활동의 범위가 과제요구의 다른 타입에서도 일어나는지는 명백하지 않다. 자극계열을 조성하는 범칙을 바꾸면 P3 후기간(post-P3 epoch)에서 뇌의 뒷쪽 후기 양성파를 유발시킨다는 연구가 있다(Stuss & Picton, 1978; Johnson & Donchin, 1982). 이들 연구에서의

과제가 지각처리에서 보다는 개념조작에 관한 것이기는 하지만, 과제요구가 증가됨에 따라 후기 양성파 활동도 나타났다. 다른 유형의 실험들에서 관찰된 후기 양성파가 지각적 요구가 높은 조건하에서 관찰되는 서파와 동일한 것인지의 여부에 대해서는 아직 분명히 밝혀져 있지 않다.

3. 음성 서파-산술계산과 심적 회전

(Arithmetic and Mental Rotation)

과제요구의 유형에서 서파활동이 일반적인지 또는 특별한 것인지의 정도를 관찰하기 위해서, Ruchkin, Johnson, Canoune 및 Ritter(1990; 1991)은 두가지 다른 유형의 과제 요구(지각-패턴재인, 그리고 개념 산술계산)가 독립적으로 변하는 실험을 수행했다(Ruchin, Johnson, Mahaffey & Sutton, 1988). 개념적인 난이도는 피험자들에게 숫자를 암기하거나(쉬운), 뺄셈(조금 쉬운), 또는 나눗셈(어려운)들을 하도록 요구하여 조작되었다. 자극은 모니터(cathode ray tube) 스크린에 제시되었고 지각적 난이도는 숫자의 변별성을 변화시킴으로써 조작되었다.

기대했던 대로 숫자가 어려웠을 때, Kok와 De Jong(1980)이 어려운 자극조건에서 관찰하였던 서파와 유사한 중앙-두정엽의 서파가 나타났다. Ruchkin 등(1990; 1991)은 유사한 양성 서파활동이 산술계산 과제가 어려웠을 때 나타날 수 있다고 가정하였지만, 산술계산의 조작들이 지각적인 처리과정에 뒤따르기 때문에 서파보다 긴 잠재기들에서는 지각적 난이도와 연관된다고 생각하였다. 더욱 놀랍게도, Ruchkin 등은 다소 다른 형태의 결과들을 관찰했는데, 나누기에서 서파활동의 증가가 명백했고, 그 개시 시점이 "지각적인 요구" 서파보다 더 긴 잠재기에서 분명하게 관찰되었다. 그러나 뇌의 뒷쪽 두피 위에서 나누기에 대한 서파활동은 음성적이었다. 양성 서파활동은 단지 전전두엽(pre-frontal)부근에서만 일어났다. 타이밍면에서의 차이를 기초로 뇌의 뒷쪽과 앞쪽 서파들은 다른 구성성분으로 나타났다(1991년에 Rosler와 Heil은 기능적

인 행동의 차이에 기초하여 뇌의 뒷쪽과 앞쪽의 서파의 두가지 구성성분의 해석에 대한 더 추가된 증거를 보고하였다).

Ruchkin 등은 서파현상이 진에 생각했던 것보다 더 다양하다는 것을 의미하는 이런 발견들을 인정하였다. Ruchkin 등(1988)의 실험에서 과제요구 타입의 함수로서 서파활동에서 명백한 차이가 나타나는 것은 지속된 정신활동의 다른 타입과 각각 연관된 서파의 몇가지 다른 타입이 있다는 가능성을 보여주는 것이다. 만일 이런 경우들에서, 서파활동이 특정의 지속된 인지적 조작의 상세한 ERP연구를 수행하는데 있어서 방법들을 제공할 지도 모른다.

서파의 다양성에 관한 이러한 견해에 대한 도전은 산술계산 실험에서 Ruchkin 등의 발견과 유사한 뇌의 뒷쪽 음성 서파 또한 심적 회전과제에서도 일어난 두 연구에 의해서 제공되었다. Stuss, Sarazin, Leech 및 Picton(1983)에 의한 첫번째 연구는 Ruchkin 등의 지각적/개념적인 서파실험이 시작되기 조금 전에 보고되었다. 그러나 Ruchkin 등은 그들의 실험이 완성되기까지 Stuss 등의 음성 서파가 그들의 산술계산 음성파와 같은 지도 모른다는 가능성에 충분히 만족하지는 못하였다. Stuss 등(1983)은 언어적인 의사결정과 심적 회전과정 동안에 기록된 ERP 활동을 대조시켰다. 심적 회전과제는 피험자들이 회전과제의 결과에 대한 그들의 판단에 높은 확신감을 줄 때, 커지게 되는 뇌의 뒷쪽 음성 서파를 유발시켰다. 언어적 과제에서 그러한 서파는 전혀 나타나지 않았다. Penonnet과 Farah(1989)는 진폭이 회전의 각도와 비례하는(예: 과제요구와 함께 증가한다) 심적 회전과정 동안 뇌의 뒷쪽 음성 서파활동을 발견했다. 산술계산과 심적인 회전 음성파들간의 뇌의 국소적 분포와 기능적인 유사성은 이 음성파들이 동일한 것인지의 여부에 관한 질문들을 제기하였다. 만일 그들이 동일한 음성파라면, 오히려 인지적 과정의 서로 다른 타입들이 같은 종류의 서파활동을 유발할 것이기 때문에 이는 서파활동의 다양성이 제한되어 있을 지도 모른다는 하나의 신호가 될 것이다.

더우기, 위의 모든 연구들에서 지연된 반응들이 사용되었기 때문에 산술계산과 심적 회전에 따른 서파의 기능적인 의미는 불확실하게 보였다. 피험자들이 과제를 완성한 시기도 잘 알려져 있지 않기 때문에 산술계산과 심적 회전조작에 대한 서파활동의 특성 역시 잘 알려져 있지 않다. 적어도 부분적으로는 이런 서파들이 적절한 사전경고로 계산을 하기 전에 시작되었을 수도 있으며, 또는 계산이 완전히 끝난 후에 나타날 수 있는 비특정적인(nonspecific) 일반 처리과정(각성, 실행기능들)을 반영하였을 수도 있다. 결과적으로 한 실험은 서파활동의 과제-특정성(task-specific)과 과제-비특정성(task-nonspecific)을 밝히려는 의도로 수행했다(Ruchkin, Johnson, Canoune, & Ritter, 1991). 산술계산과 심적 회전과제에서 관찰된 뇌의 뒷쪽 음성 파들이 동일한 것인지의 여부는 매 시행마다 부작위 순으로 제시되는 두개의 과제를 사용함으로써 알아볼 수 있겠다. 그러나 서파들이 특별한 계산과정을 반영하는지 또는 비특정적인 과정을 반영하는지의 여부는 즉각적인 반응을 사용하는 경고자극을 가진 과제자극을 앞에 제시함으로써 결정할 수 있다. 과제자극에 앞서 과제와 난이도 수준을 지시하는 경고자극을 사용함으로써 즉각적인 반응이 음성파들을 너무 늦게 나타나게 하는지의 여부 그리고 음성파의 시작이 계산활동을 반영하기에는 너무 이른지의 여부를 알아볼 수 있도록 하고 정보를 제공해준다.

이 실험의 주요한 발견은 산술계산 및 심적 회전과제에서 나타나는 뇌의 뒷쪽 음성 서파활동이 단일현상이 아니라는 점이었다. 즉, 과제의 서로 다른 측면과 연관된 것처럼 보이는 상이한 뇌의 국소적 분포에 있어서 뇌의 뒷쪽에 보다 많은 후기 음성파들이 나타난다는 것이다. 산술계산 및 심적 회전과제 모두에서, 과제의 난이도가 증가될 때 중앙-두정엽 음성 서파가 크게 나타났다. 중앙-두정엽 음성 서파는 자극제시 후 한참 있다 나타나고, 반응에 비하여 충분히 빠르게 정점에 도달해서 이것은 계산하는 것과 연관되어질 수 있기 때문에, 시

간적 감각에서 과제에 특징적인 것이었다. 현재도 뇌의 앞-뒤쪽의 국소적 분포(anterior-posterior topography)들이 과제들의 두가지 유형들에서 매우 유사하기 때문에, Ruchkin 등(1988)은 이 음성 서파가 산술계산과 심적 회전과제에서 서로 다른 것 인지의 여부를 아직도 완전하게 확신하지는 않고 있다. 그러나 그들의 뇌의 외측 국소적 분포(lateral topography)들에서 몇가지 상이한 점과, 그들의 형태와 시기(morphology and timing)가 다르게 나타났다. 회전과제 음성파가 매우 동일하게 일어나는 반면 산술계산 과제의 음성파는 반응과 매우 동일하게 일어났다.

또한 초기엔 후두엽(occipital), 그리고 후기엔 두정엽(parietal) 음성파가 있었다. 후두엽의 음성파는 경고와 과제자극 사이의 간격 뒤에 발생하였으므로 초기 과제조작과 특별하게 연관되었을 지도 모른다. 이와는 대조적으로, 두정엽 음성파는 반응에 뒤따랐다. 그러므로 후기 두정엽 음성파는 비록 그것이 선행과제의 난이도에 의해 영향받았을 지라도 반응의 산출과는 관계되지 않았다. 산술계산 및 심적 회전 모두에서 그것의 진폭은 선행과제가 보다 어려울 때 크게 나타났다.

이런 다양한 연구들은 후기 음성파들이 일단의 복잡한 서파들을 구성되었음을 지적한다. 시기와 뇌의 국소적 분포의 차이들은 다양한 음성파들이 과제의 서로 다른 측면과 연관되었음을 시사한다. 위에서 논의한 바와 같이, 그에 대한 자료는 명백하지 않지만 산술계산 및 심적 회전조작이 (필사) 일어날 간격과 시간상으로 가장 밀접하게 연결된 중앙-두정엽의 음성파는 과제 타입의 함수로써 결정된다고 볼 수 있었다. 다양한 범위에서, 이런 음성파들의 진폭들은 과제요구와 함께 증가되었다. 그러나 수리적인 면에서 과제요구와 함께 진폭의 이런 공변량의 의미는 논쟁의 여지가 있는 것이다. Rosler와 Heil(1991)은 Ruchkin 등(1988)에 의한 첫 산술계산 과제 연구에서 증가된 음성파는 피험자들이 반응했던 명령자극(imperative stimulus)에 대한 예측에 기인하여 얻은 것이었다고 주장했다

(Ruchkin & Johnson, 1991). 두번째 산술계산 과제 연구(Ruchkin et al., 1991)에서는 어떤 명령 자극도 없었기 때문에 Rosler와 Heil의 해석은 실행가능한 것처럼 보이지 않는다.

4. 학습과 기억에서 서파

기억수행에 관한 몇몇 ERP연구에서 초기의 연구들은 작업 기억(working memory)에서의 정보 주사(scanning of information)를 연구하기 위해 Sternberg 패러다임을 사용하였다. 이런 연구들은 P3 잠재기와 반응시간, 그리고 기억부하량(memory load) 사이의 관계에 초점을 맞추었다(Pratt, Michalewski, Patterson, & Starr, 1989). 또한 P3을 이용하여 연구자들은 장기기억에서의 저장과 관련된 ERP활동도 연구하였다. 이런 연구들은 P3와 혹은 뒤이어 일어나는 재인/회상 수행의 함수로써 변화하는 P3에 중첩되어 나타나는 다양한 양성 파형들을 보여줬다(Karis, Fabiani, & Donchin, 1984; Paller, 1990; Friedman, 1990; Sanquist, Rohrbaugh, Syndulko, & Lindsay, 1980). 대부분의 이런 연구들에서 관련된 ERP활동이 300-1200msec의 잠재기 범위내에서 일어나고 있어서 이런 구성성분은 비교적 짧은 기간의 기억수행과 연관되어 있다.

최근에는 기억에 대한 많은 서파 연구들이 있다. 이런 실험들은 P3연구들에서 보다 더 긴 기간의 처리과정에 초점을 맞추고 있다. 서파 연구들이 채택한 실험 기법은 기억수행의 난이도를 조정하는 것이다. 그러므로 이들 연구는 뒤이어 일어난 회상이나 재인의 정확도보다는 피험자들이 투입한 노력의 정도와 유형에 초점을 맞추고 있다. 가장 초기의 연구들은 비엔나 대학의 신경과 클리닉(Neurological Clinic)에 있는 연구자들에 의해 수행되었다. 그들의 실험은 장기기억에서의 저장에 관한 것이었고, 학습의 난이도와 정교한 책략들을 조작한 연합학습 패러다임들을 활용하였다(Uhl, Lang, Lindinger, & Deeke, 1990b). 한편 Rosler, Glowalla 및 Heil(1990a, b)은 탐색시간(search time)을 조정하여 장기기억으로부터 정보가 인출되

는 동안에 관찰되는 서파를 연구했다. 그리고 Uhl, Goldenberg, Lang, Lindinger, Steiner 및 Deecke (1990a)는 장기기억으로부터의 회상과 작업기억으로부터 회상되는 정보에 뒤 이어 일어나는 파지 돌보무를 포함하는 실험을 보고하였다. Uhl 등(1990b)에 의한 또다른 연구에서 정보의 유형(공간 대 시각, spatial vs. visual)도 조정되었다. Ruchkin, Johnson, Canoune 및 Ritter(1990)와 Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune 및 Ritter (1991)는 작업기억에서의 정보의 부호화와 파지동안의 ERP활동을 연구하였다. 정보부하량(information load)과 유형(언어-음성학적 대 공간적)은 Ruchkin 등에 의한 연구에서 조작되었다.

M. Lang, W. Lang, Uhl, A.Kornhuber, Deecke 및 H. Kornhuber(1987)과 W. Lang, M. Lang, Uhl, A. Kornhuber, Deecke 및 H. Kornhuber(1988)에 의한 장기기억 저장에 대한 연구는 대연합 학습(paired associate learning) 패러다임의 맥락내에서 수행되었다. 좌측 전두엽이 손상된 환자들은 이러한 학습에서 장애를 보였기 때문에, 그들은 특별히 언어-인지 학습에 좌측 전두엽이 관여되어 있다고 생각하였다. Lang 등(1987)의 연구는 건강하고 정상적인 피험자들에서의 언어 인지 학습과 관련하여 좌측 전두엽 활동에 대한 ERP 활동을 관찰하였다.

첫번째 연구에서(Lang et al., 1987), 피험자들은 글자들의 한 세트에 대한 모프스부호(Morse code)를 학습하였다. 각 시행에서 피험자들에게 명령 자극(imperative stimulus)(S2)을 제시한 후 그들이 모프스부호를 두드리게 될 한 글자(S1)를 제시하였다. S1-S2사이의 간격은 5초였다. S1-S2의 간격동안 음성 서파활동이 두피 위에서 충분히 넓게 퍼졌다. S1-S2기간(epoch)의 초기부분에서 뇌의 앞쪽 두피위의 음성파는 좌반구에 명백하게 국소화되었다. 더 나아가서, 시행들을 통해 학습이 진행됨에 따라 초기 음성파의 진폭은 증가하였다. 이런 증가는 전두엽과 정중선(midline) 중앙(Cz)부위의 두피 진폭에 제한되어 나타났다. 이차 운동영역(supplementary motor area)에 부착된 전극에서는 관찰되

지 않았다. 피험자들에게 그들이 이전에 학습했던 모프스부호들에 있는 글자들을 제시하는 통제조건에서는 음성파가 나타났으나 학습조건에서 보다는 진폭이 작았다. 전체적으로 S1-S2간격에서의 초기 음성파는 전두엽과 뇌의 앞쪽 정중선 및 두정엽 두 피위에서 통제조건보다 학습조건에서 보다 크게 나타났다. 게다가 통제조건에서는 초기 음성파의 어떤 국소화도 나타나지 않았다. Lang 등(1987)은 음성 서파에서의 이런 상이한 점들은 학습의 서로 다른 단계와 연관된 정보처리의 차이에 기인한 것으로 생각하였다(특히, 그들은 피험자들이 학습이 진행됨에 따라 선행시행으로부터 보다 많은 정보를 활용할 수 있었다고 여겼다). 그러나 다소 초기의 음성 서파 몇몇은 명령 자극에 대한 준비를 조건으로 하는 ERP활동이었다. 그래서 Lang 등은 이런 음성 서파들을 논의할 때(학습으로 인한 증가는 그런 우발적인 활동인 것 같지 않을지라도), "수반성 음성 변동(contingent negative variation, CNV)"이라는 용어를 사용하였다.

Lang 등(1988)은 더 나아가서 언어 연합학습에서 음성 서파를 연구하였는데, 여기에서는 다음과 같은 두가지 요인을 조작하였다: 1)학습의 요구수준(쉬운가, 어려운가) 그리고 2)어의적인 맥락(의미 있는 단어를 또는 의미없는 단어들). 쉬운 학습조건에서 피험자들은 쉬운 반의어(antonyms)인 의미 있는 단어 한쌍을 연합하는 과제나 - 예를 들면, "언덕"과 "골짜기"("hill" and "valley") - 또는 이전에 연합된 쌍으로서 학습한 아무 의미없는 단어들의 쌍을 학습하도록 하였다. 어려운 학습조건에서는 단어의 쌍들은 일반적으로 연관되지 않는 두 의미있는 단어들로 구성되었거나 이전에 아무런 연합도 이루어진 적이 없는 두 무의미 단어들로 구성되었다. 어려운 학습조건에서 쌍으로 이루어진 두 번째 단어에 뒤따르는 좌측 전두엽 두피 위에서 제일 큰 음성 서파가 1500-2500msec 범위에서 나타났다. 음성 서파는 의미없는 단어들보다 의미있는 단어들에서 더욱 크게 나타났다. 쉬운 학습조건에서는 이런 음성 서파가 나타나지 않았다. 어떤 자

극도 두번째 단어에 뒤따르리라고는 예상되지 않기 때문에 전두엽 음성파에 대한 CNV 설명은 전혀 설득력이 있어 보이지 않는다. 어려운 조건에서 의미 있는 단어들과 의미없는 단어들에 대한 ERP들간에 차이가 있다는 점을 들어, Lang 등(1988)은 전두엽 음성 서파가 언어적 재료의 정교화된 부호화와 관련있다고 제안하였다.

서파에 대한 정교화된 기억책략의 유형에 따른 효과는 Uhl 등(1990a)에 의해 후속 연구로 이어졌다. 그들의 실험설계는 Lang 등(1987; 1988)의 연구와 유사하였다. 피험자들은 두 책략 중 하나를 사용하여 한쌍의 단어를 학습했다: 1)어의적, 두 단어를 연결한 문장의 형태, 또는 2)시각이미지, 두 항목들을 조합한 시각적인 이미지를 창조하는 것이다. 아무런 학습도 없었던 통제조건도 있었다. 학습하는동안 좌측 전두엽 두피위에서 가장 큰 음성 서파들이 발생하는 반면, 통제조건에서는 어떤 음성 파도 나타나지 않았다. 전두엽의 음성파는 피험자들의 책략에 의해 영향을 받지 않았다. 피험자의 책략은 뇌의 뒷쪽 측두엽 서파 활동에 영향을 주었다. 어의적인 조건에서는 좌반구의 후두엽 음성파가 보다 크게 나타난 반면에, 시각이미지 조건에서는 후두엽 음성파들이 좌우반구에 대칭적(symmetric)으로 나타났다.

이런 서파들의 진폭과 뇌의 국소적 분포들은 피험자들의 기억책략과 과제요구(task demand)에 민감한 것처럼 보인다. 그러나 좌측 전두엽 음성 서파에 대한 Lang 등(1988)의 해석과 Uhl 등(1990a)의 결과들간에는 불일치가 있어 보인다. 즉, Lang 등의 연구에서 서파의 진폭은 피험자가 연관이 없는 의미있는 단어나 의미없는 단어를 처리하는지의 여부에 따라서 변하였다. 이들은 이런 차이들이 의미있거나 의미가 없는 단어 쌍들을 학습하는 동안 정교함의 차이에 기인한 것이라고 추측하였다. 그러나 전두엽 음성파는 Uhl 등의 실험에서 어의적인 것과 시각이미지 사이를 비교한 것으로 정교화 책략으로는 변하지 않았다. 무엇이 의미있는 단어 대 의미없는 단어의 함수에 따라 전두엽 음성파

에서 공변량의 실제적 기초가 되는 것인지에 관한 단서는 Lang 등(1987)의 초기 모르스 부호 실험과 장기기억으로부터의 인출에 대한 Rosler 등(1990a; 1990b)의 연구에서 찾아볼 수 있다.

Lang 등(1987)의 실험에서 피험자들이 학습을 완수하기 위해서는 장기기억으로부터 과거의 경험을 인출해야만 한다. Rosler, Heil 및 Henninhausen (1994)의 실험에서 피험자들은 단어목록을 학습하였고 그 다음날 한 쌍의 단어들을 제시받았다. 과제는 두 단어가 반영하는 개념들이 같은 목록에서 배웠던 것인지 아닌지의 여부를 결정하는 것이었다. 후속 연구에서, 모든 조건에서 Rosler 등(1994)이 인출조작의 반영으로 해석한 좌측 전두엽 두피 위에서 음성파장이 현저하게 오랜 기간 지속되었다. 결정의 난이도는 특정한 개념이 나타나는 여러 상이한 목록들을 다양하게 변화시켜 조작되었다(하나, 둘 또는 세개의 목록). 특정한 개념이 포함된 더 많은 목록들이 나타나면 날수록 의사결정에 도달하는 난이도는 더욱 더 어려워졌다. 지속기간이 비교적 긴 전두엽 음성파와 중첩되어 나타나는 서파는 양측으로 더 넓게 분포하는 음성 서파들에 더 빠른 변화를 일으켰다. 좌우 양반구에 분포된 전두엽 음성파의 진폭은 검사단어가 제시되는 목록의 수에 따라 변하였다(목록의 수가 많을수록 진폭은 더 커진다).

Lang 등(1988)의 언어 연합학습 실험에서 전두엽 음성파에 관하여 한쌍의 단어를 학습할 때, 의미있는 단어들은 어의적 기억과 연결되고, 단어 쌍들에서의 두 단어가 서로 관련되어 있지 않을 때는, 학습과정의 지원을 위해 장기기억으로부터 더욱 많은 정보를 인출하여야 했다. 그러므로 Lang 등(1988)의 연구에서 어떤 전두엽 음성파는 인출과 연관된 Rosler 등(1990a; 1990b)의 음성파와 매우 유사할 수 있다. 장기기억 저장과의 접촉은 의미있는 단어와 의미없는 단어들에 따라서도 서로 다를 수 있으므로 전두엽 음성 서파활동의 차이에 기여할 수 있다.

Uhl 등(1990b)은 또한 회상(장기기억으로부터의)

과 이미지 조작(작업 기억에서) 동안 서파활동에 대해서도 연구했다. 그들은 공간적이나 시각적 이미지중 어떤 것이 사용되었는지 여부의 함수로서 음성 서파의 뇌의 국소적 분포간 어떻게 나타나는 지에 관심을 갖고 있었다. 피험자들은 지시에 따라 잘 알려진 정치가의 얼굴이나(시각), 색깔(시각) 및 이전에 학습된 도형에서의 물체의 상대적 위치(공간)들을 형상화하였다. 어떤 시점에서 회상이 완전히 끝나고 주요 이미지 조작이 수행되었는지가 명백하게 결정될 수 없었다. 회상 간격의 초기에 좌측 전두엽 두피에서 최대치를 가진 한 음성 서파가 있었다. 보다 긴 잠재기에서 전두엽 음성파는 약해지고, 이미지 유형의 함수에 따라 변하는 뇌의 국소적 분포와 더불어 음성 서파활동도 넓게 분포되어 뒤를 따랐다. 이런 후기의 음성파는 공간적인 도형에서 두정엽 두피에 가장 크게 나타났고, 얼굴 모양이나 색깔에서는 측두엽과 시각피질에서 크게 나타났다. 그래서 후두엽 후기 음성파는 작업기억의 파지를 반영하는 반면, 전두엽 초기 음성파는 장기기억으로부터의 인출을 반영하는 것으로 추정하였다(Rosler et al., 1990a; 1990b 모두에서 일관되게 나타났다).

Ruchkin 등(1990)은 작업기억에서 부호화와 파지를 하는 동안의 서파활동을 연구하였다. 한 회상 조건에서 피험자들은 대략 2.5초 간격으로 제시된 일련의 자음들을 기억안에 보유해야만 했다. 정보 부하량은 일련(하나, 세개 또는 여섯개)의 많은 서로 다른 자음들의 다양한 변화에 의해 변하게 되었다. 자극으로부터 정보의 즉각적 처리과정 및 추출과 관련된 ERP의 효과와 전체 간격을 통해서 자극 정보의 파지에 대한 특정한 ERP효과 사이들을 구별하기 위하여, 피험자들은 즉각적으로 이전에 제시되었던 자음과 짝을 맞추기 위해 일련의 자음들을 탐색하는 한 조건이 있었다. 그러므로, 탐색조건에서, 모든 세가지 부단의 수준들을 위해 정보의 일부(match 또는 mismatch)만이 파지간격의 끝까지 기억해야만 하였다.

1000-2000msec 잠재기 범위내에서 최대로 활동

하는 뇌의 뒷쪽 양성 서파의 진폭은 회상조건에서 정보 부하량과 더불어 증가되었고, 탐색조건에서는 무시해도 좋을 정도였다. 뇌의 앞쪽 음성 서파는 뒷쪽 양성파와 중첩되어 뒤를 이었다. 전두엽 음성파는 좌반구에서 가장 컸고, 파지간격의 끝에서 가장 활발하였다. 이것은 회상조건에서 최대의 부하량 수준에서만 일어났고, 탐색조건에서는 전혀 일어나지 않았다. 이런 두 서파들은 오랜 기간을 거쳐 작업기억에서 부호화와 파지에 특별히 연관되어 있는 것 같아 보인다. 뇌의 뒷쪽 비교적 초기 양성파의 국면(phasic)특징은 최초의 부호화 조작을 반영한다고 제안한다. 전두엽 후기 음성파는 파지와 정 그 자체로써 연관되는 것 같았다.

한 후속 작업기억 실험에서, Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune 및 Ritter(1992)는 언어의 음성학적 정보나 공간정보에서 부호화-파지와 연관된 서파활동을 비교연구하였다. 피험자들은 발음할 수 있는 의미없는 단어들이나 공간패턴의 전사(display)들을 제시받았다. 의미없는 단어들의 소리나 공간패턴의 요소들간의 거리는 5초 간격으로 작업기억에 유지되어야만 했다. 기억부하량은 단어나 패턴에서 셋, 넷 및 다섯 음절들이나 요소들 중 어느 한 요소를 사용함으로써 다양화시켰다. 후두엽의 초기 양성파와 좌측 전두엽 후기 음성파는 회상되어야만 할 자음들이 언어 기억 조건에서 반복되었을 때 관찰되었다(Ruchkin et al., 1990). 이와는 대조적으로, 시공간 과제에서 서파활동은 초기의 시작과 함께 뇌의 뒷쪽에서 큰 음성파를 유발하였고, 후기 시작과 함께 뇌의 앞쪽 작은 진폭의 음성파로 나타났다. 이 두 서파 모두는 작어도 기록시기의 끝까지는 지속되었다. 후두엽 음성파의 진폭은 기억부하량과 직접적으로 연관되어 있다(패턴에서 많은 요소가 증가할수록 더 음성쪽으로 증가된다).

이런 다양한 결과들은 Ruchkin 등의 두 연구들에서 관찰된 후두엽 양성파가 작업기억내에 있는 언어정보의 부호화와 특히 연관되고 있다는 것을 시사한다. Uhl 등(1990b)의 연구에서 공간정보를 심상화하는 것과 연관된 후두엽 음성파와 뇌의 국

소적 분포가 유사한 공간조건의 후두엽 음성파는 작업기억에서 공간정보를 유지하는 것과 관련되어 있는 것 같다.

종종 죄반구에 국소화된 전두엽 음성 서파활동은 그것이 장기기억으로부터의 인출이거나 장기기억으로의 저장여부와는 관계없이 서파기억실험에서 하나의 편재한 현상인 것 같아 보인다. 관여되고 있는 여러 상이한 서파들의 각각 상이한 조작에 관련되어 있는 것 같다. 주어진 실험에서는 하나 이상의 서파들이 활동하게 될 것이다. 예를 들어, Ruchkin 등은 Lang 등(1988)의 언어 연합학습에서 좌측 전두엽 음성파는 장기기억에 있는 저장과 장기기억으로부터 인출 둘 모두에 의한 혼합을 반영할 수 있다고 제안하고 있다. 또한 Ruchkin 등(1990; 1992)에 의한 연구에서 전두엽 음성파는 작업기억에서 파지와 장기기억조작에서 저장의 한 혼합을 반영할지도 모른다(예를 들어, 우리는 때때로 새로운 전화번호를 작업기억에 보유하면서 반복적으로 그들을 사용함으로써 새로운 전화번호를 위우는 것이다).

VII. 결론

본고는 크게 두 부분으로 나뉘어져 있다. 첫부분은 P300을 연구하는 과정에서 우연하게 발견된 P300에 선행해서 짧은 잠재기로 나타나는 구성성분들을 다루었고, 후반에는 P300에 뒤따르는 잠재기가 길고 오랜 지속기간을 가진 서파에 대해 다루었다.

1965년 Sutton과 동료들이 최초로 밝혀낸 P300은 정보처리단계나 특정한 정보처리양식의 지표로서 뇌의 특정한 ERP 구성성분에 대한 연구의 시발점이 되었다. P300은 정보의 전달, 불확실성, 표적 선택, 의사결정, 감각변별 및 적격-부적격 짝맞추기 과정 등과 같은 인지활동을 규명하는데 사용되었다. P300 구성성분을 연구하는 과정에서 P300은 단일요소로 구성되어있지 않음이 확인되었으며 우연

하게 P300보다 짧은 잠재기를 가진 구성성분과 서파가 발견되었다.

P300 자체 뿐 아니라 잠재기에서 P300에 선행된 구성성분들이 정보처리 과정의 다양한 뇌 활동의 이해를 넓혀주고 있다. McCallum 등(1989)은 대부분의 연구가 oddball 패러다임에 진적으로 의존하고 있음을 비판하고, 이에 대한 문제점을 지적하였다. 그들은 음이 같지만 pitch가 다른 네가지 음자극을 양쪽귀에 제시하는(dichotic manner) 것을 제외하고는 선택적 주의과정 과제에서 이중 자극계열을 사용하였다. 피험자에게는 제시된 음자극이 어느 귀에 제시되었는지를 판단하도록 하였다. P300은 네가지 유형의 음 모두에 의해 유발되었다. 그러나 P300 진폭은 실제적으로 주의를 기울인 귀보다 주의를 기울이지 않은 귀에 전달된 음에서 유의미하게 컸다. 그러나 P300은 관련자극에 크게 일어나는 처리과정 음성파와 겹쳐 있는데 기인할 지도 모른다. 그럼에도 불구하고, 명백한 P300 구성성분은 자극에 의해 유발되었다. 다행히 위에서 개관한 구성성분은 이들의 유발을 위해 oddball 패러다임에만 일어난 것은 아니었다(Polich et al., 1994). 그러나 피험자가 상이한 과제를 수행하는데 사용하는 전략들이 ERP 패턴의 결과를 변경시킬 것이라는 점은 명백하다.

본고의 뒷부분에 개관한 다양한 서파연구들을 종합해 보면, 사용된 실험과제에 따라서 각기 다른 유형의 서파들이 발견되고 있다. 현재, 서파들은 상이한 초기 ERP 현상들(예: N2, P300, CNV 등등)처럼 각각의 구성요소를 규정하는 구성요소들이 세분화되어 있지는 않다. 이것은 초기 ERP에 비해 서파에 관한 체계적인 연구가 적었기 때문이다. 따라서 어떤 서파가 다른 서파와 같은 것인지의 여부를 확인할 수 있는 정보가 충분하지 못하다. 서파를 연구하는 보다 바람직한 전략은 피험자로 하여금 정보처리방식을 달리하게 하여 뇌활동의 공간적 위치나 이미지 시간간격 등과이 관계를 찾아내는 것이다. 이러한 접근은 근원국재화 분석(Source localization-analysis)을 서파자료에 적용할 때 특히 적절할 것이다(Scherg, 1990; Scherg & Picton, 1991).

참고문헌

- Alho, K., Paavilainen, P., Reinikainen, K., Sams, M., & Näätänen, R.(1986). Separability of different negative components of the event-related potential associated with auditory stimulus processing. *Psychophysiology*, 23, 613-623.
- Alho, K., Sainio, K., Sajaniemi, N., Reinikainen, K., & Näätänen, R.(1990). Event-related brain potential of human newborns to pitch change of an acoustic stimulus. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 77, 151-155.
- Alho, K., Sams, M., Paavilainen, P., Reinikainen, K., & Näätänen, R.(1989). Event-related brain potentials during selective listening. *Psychophysiology*, 26, 514-528.
- Alho, K., Woods, D. L., Algazi, A., & Näätänen, R.(1992). Intermodal selective attention II. Effects of attentional load on processing of auditory and visual stimuli in central space. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 82: 356-369.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C.(1984). ERP evidence for seroantic priming in a memory recognition paradigm. Paper presented at the Third International Conference on Cognitive Neuroscience, Bristol, England.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C.(1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic processing. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 60, 343-355.
- Breton, F., Ritter, W., Simson, R., & Vaughan, H. G., Jr.(1988). The N2 component elicited by stimulus matches and multiple targets. *Biol. Psychol.*, 27, 23-44.
- Campbell, K., Bell, I., & Bastien, C.(1991). Evoked potential measures of information processing during natural sleep. In R. Broughton & R. Ogilvie(Eds.), *Sleep, Arousal and Performance* (pp. 88-116). Boston, MA: Birkhauser.
- Csepe, V., Karmos, G., & Molnár, M.(1987). Evoked potential correlates of stimulus deviance during wakefulness and sleep in cat: animal model of mismatch negativity. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 66, 571-578.
- Deacon, D., Breton, F., Ritter, W., & Vaughan, H. G., Jr.(1991). The relationship between N2 and N400: scalp distribution, stimulus probability, and task relevance. *Psychophysiology*, 28, 185-200.
- Donchin, E.(ed.)(1982). *Cognitive psychophysiology*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum
- Donchin, E., Ritter, W., & McCallum, W. C.(1978). Cogni. psychophysiology: the endogenous components of the ERP. In E. Calloway, P. Tueting, & S.H. Koslow, (Eds.) *Event-Related Brain Potentials in Man* (pp.349-441.) New York: Academic Press.
- Duncan-Johnson, C. C. & Donchin, E.(1977). On quantifying surprise: the variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14, 456-467.
- Fischler, I., Bloom, P. A., Childers, D. G., Roucos, S. E., & Perry, N. W., Jr.(1983). Brain potentials related to stages of sentence verification. *Psychophysiology*, 20, 400-409.
- Friedman, D.(1990). Endogenous event-related electrical activity during continuous recognition memory for pictures. *Psychophysiology*, 27, 136-148.
- Galambos, R. & Hillyard, S. A.(1981). Electrophysiological approaches to Human cognitive processing. *Neurosci. Res. program Bull.*, 20, 141-265.

- Haider, M., Spong, R., & Lindsley, D. B.(1964). Attention, vigilance, and cortical evoked-potentials in humans. *Science*, 145, 180-182.
- Hamberger, M. J. & Friedman, D.(1990). Age-related changes in semantic activation: evidence from ERPs. In C.H.M. Brunia, A.W.K. Gaillard & A. Kok(Eds.), *Psychophysiological Brain Research : Vol. 1* (pp.279-284). Tilburg: Tilburg University Press.
- Hansen, J. & Hillyard, S. A.(1980). Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol.*, 49, 277-290.
- Hansen, J. & Hillyard, S. A.(1983). Selective attention to multidimensional auditory stimuli. *J. Exp. Psychol. Hum Percept. Perform.*, 9, 1-19.
- Hansen, J. & Woldorff, M.(1991). Mechanisms of auditory selective attention as revealed by event-related potentials. In C.H.M. Brunia, G. Mulder & M.N. Verbaten(Eds.), *EEG Suppl.*, 42, (pp. 195-209). Amsterdam: Elsevier
- Haber, R. N.(1974). Information Processing. In E. C. Carterette & M. P. Friedman(Eds.), *Handbook of perception: I* (pp.313-334). New York: Academic press.
- Hari, R., Hämäläinen, M., Ilmoniemi, R., Kaukoriananta, E., Reinikainen, K., Salminen, J., Alho, K., Näätänen, R., & Sams, M.(1984). Responses of the primary auditory cortex to pitch changes in a sequence of tone pips: neuromagnetic recordings in man. *Neurosci. Lett.*, 50, 31-43.
- Henik, A., Speer, M., & Kellogg, W. A.(1983). The dependence of semantic relatedness upon prime processing. *Mem Cognit.*, 11, 366-373.
- Hillyard, S. A. & Kutas, M.(1983). Electro-physiology of Cognitive processing. *Ann. Rev. Psychol.*, 34, 33-61.
- Hillyard, S. A. & Picton, T. W.(1987). Electro-physiology of cognition. In V.B. Mountcastle, F. Plum & S.R. Geiger(Eds.), *Higher Functions of the Brain Part 2* (pp.519-584) Baltimore: American Physiological Society.
- 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.
- Javitt, D., Schroeder, C. E., Steinschneider, M., Arezzo, J. C., & Vaughan, H. G., Jr.(1992). Demonstration of mismatch negativity in the monkey. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol.*, 88, 87-90.
- Johnson, R., Jr. & Donchin, E.(1982). Sequential expectancies and decision making in a changing environment: an electrophysiological approach. *Psychophysiology*, 19, 183-200.
- Karis, D., Fabian, M., & Donchin, E.(1984). "P300" and memory: individual differences in the Von Restorff effect. *Cognit. Psychol.*, 16, 177-216.
- Klinke, R., Fuhstorfer, H., & Finkenzeller, P.(1968). Evoked responses as a function of external and stored information. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol.*, 25, 119-122.
- Kok, A. & De Jong, H. L.(1980). Components of the event-related potential following degraded and undegraded stimuli. *Biol. Psychol.*, 11, 117-133.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A.(1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M., & Hillyard, S.A.(1989). An electrophysiological probe of incidental semantic association. *J. Cognit. Neurosci.*, 1, 38-49.

- Lang, M., Lang, W., Uhl, F., Kornhuber, A., Deeke, L., & Kornhuber, H. H.(1987). Slow negative potential shifts indicating verbal cognitive learning in a concept formation task. *Hum Neurobiol.* 6, 183-190.
- Lang, W., Lang, M., Uhl, F., Kornhuber, A., Deeke, L., & Kornhuber, H. H.(1988). Left frontal lobe in verbal associative learning: a slow potential study. *Exp. Brain Res.* 70, 99-108.
- Mäntyselä, S. & Näätänen, R.(1987). The duration of a neuronal trace of an auditory stimulus as indicated by event-related potentials. *Biol. Psychol.* 24, 183-195.
- McCallum, W. C., Farmer, S. F., & Pooch, P. V. (1984). The effects of physical and semantic incongruities on auditory event-related potentials. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 59, 477-488.
- Näätänen, R.(1975). Selective attention and evoked potentials in humans: a critical review. *Biol. Psychol.* 2, 237-307.
- Näätänen, R.(1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behav. Brain Sci.* 13, 201-288.
- Näätänen, R.(1992). *Attention and Brain Function*, Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Näätänen, R. & Gaillard, A. W. K.(1983). The orienting reflex and the N2 deflection of the event-related potential (ERP). In A. W. K. Gaillard & W. Ritter(Eds.) *Tutorials in Event Related Potential Research: Endogenous Components*. Amsterdam: North-Holland.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K., & Mäntyselä, S. (1978). Early selective attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychol.* 42, 313-329.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K., & Sams, M.(1987). Inter-stimulus interval and the mismatch negativity. In C. Barber & T. Blum,(Eds.). *Evoked Potentials III*, London: Butterworth.
- Näätänen, R., Simpson, M., & Loveless, N. E.(1982). Stimulus deviance and evoked potentials. *Biol. Psychol.* 14, 53-98.
- Neville, H. J., Kutas, M., Chesney, G., & Schmidt, A. L.(1986). Event-related brain potentials during initial encoding and recognition memory of congruous and incongruous words. *J. Mem Lang.* 25, 75-92.
- Novak, G. P., Ritter, W., & Vaughan, H. G. Jr. (1992a). Mismatch detection and the latency of temporal judgments. *Psychophysiology*, 29, 398-411.
- Novak, G. P., Ritter, W., & Vaughan, H. G. Jr.(1992b). The chronometry of attention-modulated processing and automatic mismatch detection. *Psychophysiology*, 29, 412-430.
- Novak, G. P., Ritter, W., Vaughan, H. G., Jr., & Witznitzer, M. L.(1990). Differentiation of negative event-related potentials in an auditory discrimination task. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 75, 255-275.
- Nyman, G., Alho, K., Laurinen, P., Paavilainen, P., Radil, T., Reinikainen, K., Sams, M., & Näätänen, R.(1990). Mismatch negativity (MMN) for sequences of auditory and visual stimuli: evidence for a mechanism specific to the auditory modality. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 77, 436-444.
- Paller, K. A.(1990). Recall and stem-completion priming have different electrophysiological correlates and are modified differentially by

- directed forgetting. *J. Exp. Psychol. Learn Mem Cognit.*, 16, 1021-1032.
- Parasuraman, R., Richer, F., & Beatty, J.(1982). Detection and recognition: concurrent processes in perception. *Percept. Psychophys.*, 31, 1-12.. Parasuraman(Eds.) (pp.146-154). Amsterdam: Elsevier.
- Peronnet, F. & Faran, M. J.(1989). Mental rotation: an event-related potential study with a validated mental rotation task. *Brain Cognit.*, 9, 279-288.
- Picton, T. W., Campbell, K. B., Barbeau-Beau, J., & Proulx, G. B.(1978). The neurophysiology of human attention: a tutorial review. In J. Requin(Ed.) *Attention and Performance: VII.* (pp.429-467). New York: Wiley.
- Polich, J., Eischen, S. E., & Collins, G. E.(1994). P300 from a single auditory stimulus. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 92, 253-261
- Pratt, H., Michalewski, H. J., Patterson, J. V., & Starr, A.(1989). Brain potentials in a memory scanning task. I. Modality and task effects on potentials to the probes. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 72, 407-421.
- Ritter, W., Paavilainen, P., Lavikainen, J., Reinikainen, K., Alho, K., Sams, M., & Näätänen, R.(1992) Event-related potentials to repetition and change of auditory stimuli. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 83, 306-321.
- Ritter, W., Simson, R., & Vaughan, H. G., Jr.(1972). Association cortex potentials and reaction time in auditory discrimination. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 33, 547-555.
- Ritter, W., Simson, R., & Vaughan, H. G., Jr.(1983). Event-related potential correlates of two stages of information processing in physical and semantic discrimination tasks. *Psychophysiology*, 20, 168-179.
- Rosler, F., Glowalla, U., & Heil, M.(1990a). Slow negative potentials during retrieval from longterm memory. In C. H. M. Brunia, A. W. K. Gaillard & A. Kok (Eds.) *Psychophysiological Brain Research: Vol.1*(pp.244-247). Tilburg: Tilburg University Press.
- Rosler, F. & Heil, M.(1991). Toward a functional categorization of slow waves: taking into account past and future events. *Psychophysiology*, 28, 344-358.
- Rosler, F., Heil, M., & Glowalla, U.(1990b). Monitoring retrieval from long-term memory by means of slow event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 27, 4A, S61.
- Rosler, F., Heil, M., & Hennighausen, E.(1994). Slow Potentials During Long-Term Memory Retrieval. In H.-J. Heinze, T. F. Munte & G. R. Mangun(Eds.). *Cognitive Electrophysiology*(pp.149-168). Boston, MA: Birkhauser.
- Roth, W. T., Ford, J. M., & Kopell, B. S. (1978). Long latency evoked potentials and reaction time. *Psychophysiology*, 15, 17-23.
- Ruchkin, D. S. & Johnson, R., Jr.(1991). Complexities related to cognitive slow wave experiments: a reply to Rosier and Heil. *Psychophysiology*, 28, 359-362.
- Ruchkin, D. S., Johnson, R., Jr., Mahaffey, D., & Sutton, S.(1988). Toward a functional categorization of slow waves. *Psychophysiology*, 25, 339-353.
- Ruchkin, D. S., Johnson, R., Jr., Canoune, H., & Ritter, W.(1990). Short-term memory storage and retention: an event-related brain potential study. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 76, 419-439.

- Ruchkin, D. S., Johnson, R., Jr., Canoune, H., & Ritter, W.(1991). Event-related potentials during arithmetic and mental rotation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 79, 473-487.
- Ruchkin, D. S., Johnson, R., Jr., Grafman, J., Canoune, H. L., & Ritter, W.(1992). Distinctions and similarities among working memory processes: an event-related potential study. *Cognit. Brain Res.*, 1, 53-66.
- Ruchkin, D. S., Sutton, S., Kietzman, M. L., & Silver, K.(1980b). Slow wave and P300 in signal detection. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 50, 35-47.
- Ruchkin, D.S., Sutton, S., & Stega, M.(1980a). Emitted P300 and slow wave event-related potentials in guessing and detection tasks. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 49, 1-14.
- Rugg, M.D., Furda, J., & Lorist, M.(1988). The effects of task on the modulation of event-related potentials by word repetition. *Psychophysiology*, 25, 55-63.
- Rugg, M.D. & Doyle, M.C.(1994). Event-Related Potentials and Stimulus Repetition in Direct and Indirect Tests of Memory. In H.-J. Heinze, T.F. Munte & G.R.(Eds.), *Cognitive Electrophysiology* (pp. 124-148). Boston, MA: Birkhauser.
- Sams, M., Alho, K., & Näätänen, R.(1983). Sequential effects in the ERP in discriminating two stimuli. *Biol. Psychol.* 17, 41-58.
- Sanquist, T. F., Rohrbaugh, J. W., Syndulko, K., & Lindsley, D. B.(1980). Electrocortical signs of levels of processing: perceptual analysis and recognition memory. *Psychophysiology*, 17, 568-576.
- Scherg, M.(1990). Fundamentals of dipole source potential analysis. In F. Grandori, G. L. Romani & M. Hoke(Eds.), *Auditory Evoked Electric and Magnetic Fields. Topographic Mapping and Functional Localization. Advances in Audiography:Vol.6* (pp.40-69). Basel: Karger.
- Scherg, M. & Picton, T. W.(1991). In C.H.M. Brunia, G. Mulder & M. N. Verbaten(Eds.), *Event-Related Brain Research* (EEG Suppl., 42, pp. 24-37). Amsterdam: Elsevier.
- Scherg, M., Vajsar, J., & Picton, T. W.(1989). A source analysis of the late human auditory evoked potentials. *J. Cognit. Neurosci.*, 1, 336-355.
- Schröger, E., Paavilainen, P., & Näätänen, R.(1994). Mismatch negativity to changes in a continuous tone with regularly varying frequencies. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 92, 140-147.
- Smith, M. C.(1979). Contextual facilitation in a letter search task depends on how the prime is processed. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 5, 239-251.
- Squires, N. K., Squires, K., & Hillyard, S. A.(1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable stimuli in man. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 38, 387- 401.
- Stuss, D. T. & Picton, T. W.(1978). Neurophysiological correlates of human concept formation. *Behav. Biol.*, 23, 135-162.
- Stuss, D. T., Sarazin, F. F., Leech, E. E., & Picton, T. W.(1983). Event related potentials during naming and mental rotation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 56, 133-146.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R.(1965). Evoked potential correlates of

- stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Sutton, S., Tueting, P., Zubin, J., & John, E. R.(1967). Information delivery and the sensory evoked potential. *Science*, 155, 1436-1439.
- Treisman, A. M. & Gelade, G.(1980). A feature integration theory of attention. *Cognit. Psychol.*, 12, 97-136.
- Tueting, P, Sutton, S., & Zubin, J.(1970). Quantitative evoked potential correlates of the probability of events. *Psychophysiology*, 7, 385-394.
- Uhl, F., Goldenberg, G., Lang, W., Lindinger, G., Steiner, M., & Döcke, L.(1990a). Cerebral correlates of imagining colours, faces and a map-II. Negative cortical DC potentials. *Neuropsychologia*, 28, 81-93.
- Uhl, F., Lang, W., Lindinger, G., & Döcke, L. (1990b). Elaborative strategies in word pair learning—DC-potential correlates of differential frontal and temporal lobe involvement. *Neuropsychologia*, 28, 707-717.
- Wijers, A. A., Otten, L. J., Feenstra, S., Molder, G., & Molder, L. J. M.(1989). Brain potentials during selective attention, memory search, and mental rotation. *Psychophysiology*, 26, 452-466
- Winkler, I., Paavilainen, P., & Näätänen, R.(1992). Can echolic memory store two traces simultaneously? A study of event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 29, 337-349.
- Woldorff, M. G., Hackley, S. A., & Hillyard, S. A. (1991). The effects of channel-selective attention on the mismatch negativity wave elicited by deviant tones. *Psychophysiology*, 28, 30-42.
- Woldorff, M., Hansen, J. C., & Hillyard, S. A.(1987). Evidence for effects of selective attention in the midlatency range of the human auditory event-related potential. In R. Johnson, Jr., J. W. Rohrbaugh & R. Parasuraman(Eds.), *Current Trends in Event-Related Potential Research*(pp.146-154.). Amsterdam: Elsevier.
- Woods, D. L., Alho, K., & Algazi, A.(1992). Intermodal selective attention. I. Effects on event related potentials to lateralized auditory and visual stimuli. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 82, 341-355.
- Woodward, S. H., Ford, J. M., & Hammett, S. C. (1993). N4 to spoken sentences in young and older subjects. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 87, 306-320.

Event-related potentials of cognitive processing: A review of ERP components serendipitously discovered in studying P300

Hansook Ahn

Dept. of Psychology, Ajou University

This review paper has been divided into two parts, the first dealing with components that have short latencies and brief durations, and the second dealing with components that occur late in time and have long durations. This was a convenient way of dividing the material covered and fits most ERP investigators' notions of these being two discrete domains of research. Indeed, most investigations of short-latency components have usually paid little attention to slow waves and vice versa.

The early latency components(e.g., MMN, P300, Nd, etc.) have a very large range of durations that actually overlap with those of the slow waves. A selective attention effect with auditory stimuli lasted for only 20 msec (from about 30- to 50 msec latency), whereas selective attention effects associated with spatial selection of visual stimuli typically last for about 100 msec (i.e., the duration of the P1 and N1 components). The MMN usually lasts for about 200 msec. The P300 component can last for 500 or more msec., and the Nd can persist for many hundreds of msec. It is clear that the strategies subjects use to perform different tasks will alter the pattern of ERP results obtained.

Initially, it was thought that there is one slow wave, being positive in posterior regions and negative frontally. Since the slow wave occurred after P300, and the experimental designs were such that the slow waves may have been subsequent to the processes that determined the subjects' behavior, its functional significance was conceptualized in terms of further processing associated, for example, with a re-examination of the events which had just occurred. This interpretation was applied to diverse experimental tasks, such as signal detection, discrimination between stimuli, prediction situations, etc. On two major events in slow wave research, one is that a variety of slow waves have been found which have different scalp distributions and are associated with different psychological processes. The other is that the slow waves have more recently been studied in tasks where the subject's performance depended upon very-long duration processes. Thus, these slow waves may well have been associated with processing that determined the behavioral response. Consequently, the features that used to separate the two domains of research are not as relevant as they once were. Moreover, the division of components into those of short- and long-lasting durations has become arbitrary.