

## 시각적 탐색에서 표적에 의해 유발된 N2pc 성분의 특성 및 측정

현 주 석<sup>†</sup>

중앙대학교 심리학과

본 논문은 최근 시각적 주의 연구에서 자주 사용되는 사건관련전위(Event-Related Potentials, ERPs)인 N2pc (N2 post-contralateral) 성분 측정 과정에서 반드시 고려되어야 할 유의점과 그 이유를 설명하였다. 이를 위해 시각 탐색 과제(visual search)를 사용한 주의 전환(attentional shift) 과정에 대한 연구에서 사용되는 N2pc 측정법을 개괄하고, 측정 과정에서 발생할 수 있는 문제점에 대한 해결책을 제안하였다. N2pc 성분의 유무는 외측 표적(lateralized target)을 포함한 시각 탐색 과제에서 탐색 자극 제시 후 약 200ms 후에, 표적이 속한 시야의 대측(contralateral-to-target) 두피에 위치한 전극에서 측정된 전위가 동측(ipsilateral-to-target)에 비해 음극화되는 정도에 근거한다. 일반적으로 표적으로 주의가 전환되는 시점에 대측과 동측의 전위 차이는 가장 현저해지며, 이는 N2pc의 진폭 측정뿐 아니라 발현 시점에 대한 체계적인 조사를 필요로 한다. 비교적 진폭이 작고 발현시간이 짧은 N2pc의 특성상 주의 전환 시점의 정확한 측정을 위해서는 높은 수준의 신호-대-잡음 비율(signal-to-noise ratio)이 필요한데, 이는 충분한 반복 시행의 확보와 측정 당시의 여러 잡음을 최소화시킴으로써 달성될 수 있다. 표적 방향으로의 안구 운동은 N2pc 파형에 큰 영향을 미칠 수 있는데 안구 운동 시행은 교정 보다는 제거를, 그리고 외측화된 표적으로 인한 외측 대기 전위(lateralized readiness potentials, LRP)의 영향을 최소화하기 위해서는 한손만을 사용하되 반응에 사용되는 양손을 구획별로 바꿔 주는 역균형화가 권장된다.

주요어 : 주의 전환, 사건 관련 전위, N2pc, 시각 탐색

---

<sup>†</sup> 교신저자 : 현주석, 중앙대학교 문과대학 심리학과, (156-756) 서울시 동작구 흑석동 221번지  
E-mail: jshyun@cau.ac.kr

시각 정보 처리과정에 대한 신경 생리학적 연구는 수백분의 일초 단위로 매우 빠르게 변화하는 피질 세포들의 전기 생리 활동 특성 때문에 시공간적으로 매우 정확한 측정 방법을 사용하는 것이 중요하다. 실험법을 사용하는 최근의 시각 연구에서는 수렴적 증거 (converging evidence)의 확보를 위해 피험자 또는 피험 동물의 과제 수행시 나타나는 행동적 (behavioral) 변화뿐만 아니라 신경 생리학적 (neurophysiological) 변화를 동시에 관찰하는 경향이 늘어나고 있다. 본 개괄 논문은 시각 연구 분야 중, 시각 탐색 과제 수행시 나타나는 시각적 주의의 전환(shift)을 두피 전위(scalp potentials) 측정법을 사용해 실시간 조사하는 연구 방법을 개괄하고, 측정 과정에서 흔히 발생할 수 있는 문제점에 대한 해결책을 제시해 보고자 한다.

초기 시각 정보 처리는 대뇌의 후두엽 부위 시각 피질(visual cortex)이 주로 관여한다. 시각 자극의 처리에 관한 신경 생리학 연구 결과에 의하면, 시각 자극 제시 후 약 100ms를 전후하여, 감각 수용기를 통해(sensory receptors) 입력된 시각 정보의 기본 세부 특징 분석이 완료되어 행동적으로 유의미한 정보는 피질 수준의 선별적 처리를 받게 된다(Luck, Chelazzi, Hillyard, & Desimone, 1997; Maunsell & Newsome, 1987). 원숭이의 시각 피질과 인간 시각 피질 영역의 구조적, 기능적 유사성 (homologue)을 고려할 때 인간의 시각 정보 처리 또한 매우 짧은 시간 동안에 기본 세부 특징 분석이 완료될 수 있음을 추정해 볼 수 있다. 인간의 시각 피질 활동을 직간접적으로 측정할 많은 연구들은 이러한 가설을 지지하

는 다양한 증거들을 제시하였다(Hillyard & Anllo-Vento, 1998; Hillyard, Teder-Sälejärvi, & Münte, 1998).

시각 과정과 관련된 피질 수준의 정보 처리를 조사하기 위해서는 다른 어느 방법보다도 전기 탐침 삽입과 같은 외과적 기술을 통한 신경 생리학적 측정이 가장 직접적인 조사법이 된다. 대다수의 연구들은 피험자 또는 피험 동물이 시각 자극을 경험하는 동안 삽입된 탐침을 통해 측정되는 신경 세포의 발화 빈도 또는 세포군(細胞群)의 동기화 (synchronization) 특성을 조사하여 시각 자극 제시와 동시에 발생하는 신경 세포들의 발화 특성을 조사하였다. 그러나 실험을 목적으로 인간을 대상으로 두개골 내부의 뇌에 탐침을 삽입하는 외과적 기술은 윤리적 문제와 위험성으로 인해 매우 특별한 경우를 제외하고는 시도되지 않고 있다.

외과적 기술에 대한 대안으로 제시된 비침투적(non-invasive) 조사 방법으로는 먼저 기능적 자기 공명법(fMRI; functional Magnetic Resonance Imaging)처럼 공간적 해상도(spatial resolution)를 중요시한 측정법들이 있다. 일련의 시각 정보 처리 과정을 뇌의 영역별로 자세히 관찰할 수 있다는 점에서 최근 크게 각광을 받고 있으나, 신경 세포의 전기 생리학적 활동보다는 대사(metabolism) 활동의 측정에 의존한다는 점에서 시간 해상력에 있어서 한계점이 드러나고 있다(Luck, 2005a; Luck, Woodman, & Vogel, 2000). 신경 세포의 전기 생리 활동이 유발시킨 미세한 자기장의 변화를 탐지해내는 자기 투영법(MEG; Magnetoencephalography) 또한 연구비용이 지나

치게 과도하다는 이유로 그 실용성이 의문시 되어 왔다. 그 밖의 다른 대안적 접근들은 현재 그 실효성에 대한 검증 단계에 머무르고 있다(Gratton et al., 1997).

반면에 두피 전위 측정법은 상대적으로 오랜 기간 동안 다양한 분야에 사용되어 비용이나 기술적 측면에서 그 합리성과 실용성을 인정받은 조사 방법이다. 다수의 심리학 관련 연구에서 사건 관련 전위 측정법으로 명명되는 두피 전위 측정법은, 특정 심리적 사건(stimulus event)이 유발시킨 두피의 미약한 전위 변화를 측정하여 그 사건과 관련된 신경세포군의 전기생리학적 활동을 추정한다. 이는 대사 과정을 매개로 한 다른 영상 기법에 비해, 대뇌에서 발생하는 전기 생리학적 신호를 시간적으로 충실히 반영한다는 장점이 있다. 그러나 2차원적으로 배열된 한정된 개수의 전극들(electrodes)로부터 측정된 신호를 근거로, 뇌의 특정 부위에서 발생하는 전기 생리학적 반응을 3차원적으로 추정하기 때문에 공간적 해상력의 신뢰도가 떨어진다는 치명적인 약점이 존재한다(Luck, 2005a; Luck et al., 2000). 따라서 두피 전위 측정법은 뇌의 영역별 활성성을 조사하기 보다는 과제 수행 중 인지 및 지각 과정의 비교적 후기 처리에 속하는 의사 결정이나 반응 선택, 언어 처리와 이해 과정의 시간적 특성(temporal properties)을 조사하는데 자주 사용되어왔다.

### 사건 관련 전위를 사용한 시각적 주의 측정 방법: 시각 탐색 과제와 N2pc 측정

앞에서 언급한 바와 같이 사건 관련 전위

측정법은 공간적 해상력이 취약하다는 단점이 있다. 이러한 지적은 수집된 두피 전위 자료에서 대뇌 피질의 활성화 위치를 추정하는 것이 완전히 불가능함을 의미하지는 않는다. 이론적으로는 특정 사건 관련 전위 성분의 원천(ERP source generator)이 심층 대뇌 부위인 경우 그 위치를 정확히 추정하는 것은 매우 어렵다. 그러나 대뇌 좌우 반구나 전두부 및 두정부, 그리고 후두부의 피질 영역 활성화 여부는 두피 전위의 분포(scalp topography)를 관찰함으로써 대략적인 추정이 가능하다(Luck, 2005a; Luck et al., 2000)<sup>1)</sup>.

N2pc와 같은 사건 관련 전위를 사용하여 시각적 주의의 공간적 특성을 조사하기 위해서는 피질 영역과 두피 전위에 존재하는 공간적 정보의 관련성을 살펴볼 필요가 있다. 시지각의 선별적 주의 기제를 논하기에 적절한 피질 수준으로 알려진 V4와 IT가 속한 후두엽에서

1) 엄밀히 따지면, 대뇌 심층 수준이 아닌 피질 수준의 국재화라고 해도 결과 해석 오류의 가능성에서 자유로울 수 없다. 사건 관련 전위 연구에서 원천 국재화(source localization)에 흔히 사용되는 일반적인 계산 알고리즘은, 인간의 두개골이 완벽한 구형(sphere)임을 가정하며 피질을 포함한 두개골과 대뇌 구조체의 전도성(conductivity)이 두개골 내에서 균등(homogeneous)하고, 사용된 전극들이 두개골 360° 전 방향에 걸쳐 발생하는 전위를 빠짐없이 측정한다고 가정한다. 대부분의 피험자들이 구형 두상을 가지지 않고, 대뇌 구조물의 전도성이 균등할 수 없으며 측정에 사용되는 전극들이 두개골 360° 전체를 다 뒤덮을 수 없다는 사실을 고려할 때 사건 관련 전위를 사용한 원천 국재화는 그 대상(locus of interest)이 대뇌 심층 활동이건 피질 수준의 활동이건 근본적으로 잘못된 결과해석에 다다를 가능성이 매우 크다.

측두엽을 가로지르는 복측(腹側; ventral) 경로와 인접한 전극들의 경우, 후두엽으로부터 대뇌의 좌복측과 우복측면에 인접한 시각 피질 세포군의 활동을 반영할 가능성이 크다.

응시점을 중심으로 시야의 좌우에 제시된 자극의 경우 시각 경로의 대측성(contralaterality) 원리에 따라, 각각 우측두엽내의 복측 경로와 좌측두엽내의 복측 경로를 통해 좌우 시야별로 분리되어 처리됨을 예상할 수 있다. 즉 좌측 시야에 제시된 자극은 우측뇌의 복측 경로, 그리고 우측 시야에 제시된 자극은 좌측 뇌의 복측 경로의 세포군들에 의해 처리된다. 이러한 세포군의 활동 차이는 양 복측 경로에 인접한 전극에서 측정되는 두 피 전위에 반영될 가능성이 크다.

시각 경로의 대측성과 피질-두피 전위간 공간적 관련성에 근거해 시각적 주의가 유발시킨 사건 관련 전위의 변화를 조사한 예는 단서유도법(cueing paradigm)을 사용한 시각적 주의의 촉진효과를 측정한 사건 관련 전위 연구에서 발견된다(Mangun, 1987, 1995; Mangun, Hansen, & Hillyard, 1987; Mangun & Hillyard, 1988). 시야의 한 지점에 돌발 출현하는 물체나 갑작스런 사건의 발생은 그 발생 위치에 외인성 주의(exogenous attention)를 유도한다. 외인성 주의가 주어진 위치에 제시된 시각 자극에 대한 정보 처리는 일반적으로 촉진(facilitated)되는데, 이러한 촉진 현상은 관찰자의 의도적 노력에 의해 유도된 내인성(endogenous) 주의의 경우에서도 관찰된다. 내외인성 주의 모두 주의 착점 부근에서 주의가 주어지지 않은 시야에서 보다 표적의 탐지율 및 변별 정확도를 증가시키는 정보 처리 촉진

현상을 발생시킨다(Jonides, 1981; Mueller & Rabbit, 1989; Nakayama & Mackeben, 1989).

주의가 주어진 시야의 정보 처리 촉진 정도는 표적 탐지율이나 변별 정확도와 같은 행동적 측정치 뿐 아니라, 주의가 주어진 위치 또는 주어지지 않은 위치에 출현한 과제와 무관한 자극에 의해 유발된 사건 관련 전위를 측정함으로써도 정량화될 수 있다. Mangun (1995)은 응시점을 기준으로 시야의 좌우 중 한 방향에 주의를 유도한 후 표적을 변별해야

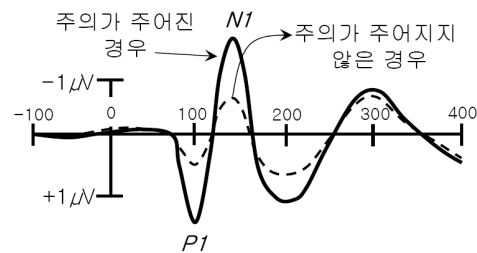
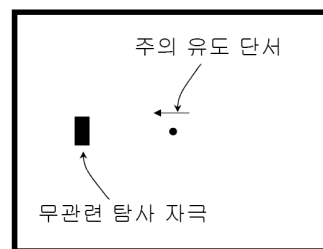


그림 1. Mangun (1995)의 연구에서 얻어진 원자료 파형. 상단에서 도해진 바와 같이 피험자가 주의를 왼쪽 시야에 주고 있을 때 왼쪽에 출현한 무관련 탐사 자극은 하단의 파형에서 주의가 주어진 경우의 파형을 유발하고 주의를 오른쪽 시야에 주고 있을 때 왼쪽에 출현한 탐사 자극은 주의가 주어지지 않은 경우의 파형을 유발시킨다. 100ms 전후에 두 조건간에 P1과 N1 성분의 현격한 차이가 관찰된다. 세로축에 표시된 전위는 관례상 음극이 위쪽 그리고 양극이 아래쪽을 향하고 있다(제시된 원자료 파형은 Mangun(1995)의 자료를 참고하여 저자가 재구성하였다).

하는 과제를 실시하였다. 피험자는 제시된 단서에 의해 좌측 또는 우측 시야에 주의를 기울이고, 시야의 좌우측에 제시되는 표적 자극을 변별하도록 요구 받았다. 일부분의 시행에서 피험자는 주의를 집중한 시야 또는 반대편 시야에 표적 자극이 제시되기 직전에 과제와는 무관한 작은 막대 형태의 탐사 자극 (probe stimulus)을 제시받았다(그림 1 참고). 이 탐사 자극은 출현과 동시에 현저한 사건 관련 전위를 유발하였다. Mangun은 그림 1에 제시된 파형과 같이 주의를 주어진 시야에 제시된 탐사 자극이 유발하는 사건 관련 전위가 주의를 주어지지 않은 시야에 탐사 자극이 제시된 경우보다 상대적으로 큰 것에 주목하였다. 이는 주의를 주어진 시야에 제시된 표적에 대한 탐지율이나 변별 정확도가 상대적으로 증가함과

마찬가지로, 주의를 주어진 시야를 담당하는 시각 피질의 활동 또한 상대적으로 증가되었을 가능성을 의미한다.

시각적 주의를 관련된 사건 관련 전위에 대한 측정은 단서 유도 과제뿐 아니라 시각 탐색 과제를 사용한 연구들에서도 빈번히 시도되었다(Luck, 1994; Luck & Hillyard, 1990, 1994). Luck과 Hillyard(1994)는 시야에 제시된 세부 특징 자극의 현저성에 반응하거나 여러 세부 특징간의 통합에 관여하는 초점 주의 (focused attention)의 이동을 측정할 수 있는 사건 관련 전위 측정법을 개발하였다. 이는 앞서 설명되었던 단서 유도 과제에서 사용된 대측성 원리(contralaterality)를 기초로 한다. Luck과 Hillyard는 그림 2의 (가)에서처럼 특정 세부 특징을 가진 표적을 탐색해 내는 단순세부특

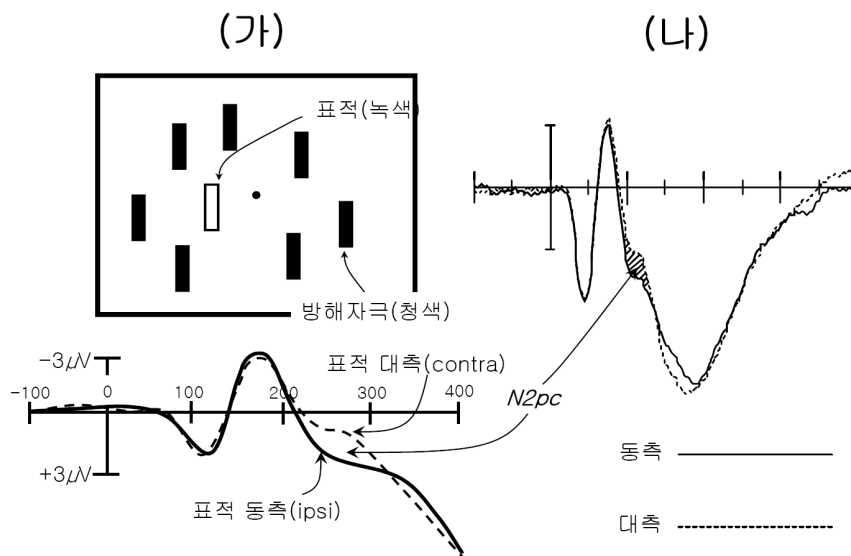


그림 2. (가) Luck과 Hillyard(1994)의 시각 탐색 실험의 결과 얻어진 N2pc 파형. 시각 탐색 자극 제시 200ms 이후를 전후하여 표적을 기준으로 대측 전극에서 얻어진 파형이 동측에 비해 음극화되는 경향이 뚜렷하게 관찰된다(제시된 원자료 파형은 Luck과 Hillyard(1994)의 자료를 참고로 저자가 재구성) (나) Hyun, Woodman과 Luck(in press)의 연구에서 얻어진 N2pc 원자료 파형. 피험자는 여러 방해 자극들 중 특정 색상의 시각형의 존재 유무를 보고하는 단순 세부 특징 탐지 과제를 수행하였다.

정 탐색 과제(simple feature search task)에서 표적을 좌 또는 우 시야 반구(hemifield)에 제시하였다. 표적의 위치를 제외한 양쪽 시야상의 위치에는 방해 자극(distractors)이 함께 제시되었다. 이 경우 표적이 존재하는 시행(target-present trials)의 경우 표적 자극의 돌출(pop-out)에 의해 주의가 표적의 위치로 이동됨이 알려져 있다(Treisman, 1988; Treisman & Gormican, 1988; Treisman & Sato, 1990).

Luck과 Hillyard는 주의의 이동에 의해 표적이 속한 반구 시야(visual hemifield)를 담당하는 뇌의 영역이 그렇지 않은 영역보다 활성화 될 것을 예견하였다. 따라서 대측성 원리에 근거할 경우 표적의 처리를 담당하는 대측 반구(target-contra)의 두피 전극에서 측정된 사건 관련 전위의 파형은 담당하지 않는 동측 반구

(target-ipsi)의 전극에서 측정된 파형과 차이가 날 가능성이 매우 크다. 두 반구 방향에 부착된 전극에서 측정된 사건 관련 전위를 분석한 결과 탐색 자극의 제시 후 약 200ms 전후 부근에서 표적의 대측 전극들에서 측정된 전위가 동측보다 좀 더 음극화(negative-going)되는 것을 발견하였다 (실제 실험 결과 얻어진 파형의 예는 그림 2의 (나)를 보시오).

이는 그림 3에 예시된 바와 같이 선별적 주의 활동과 관련된 신경 세포 수준의 전위 반응의 시간적 특성과 완벽하게 일치하는 결과로서(Luck, Chelazzi, Hillyard, & Desimone, 1997), 표적 위치로의 주의 전환과 관련된 사건 관련 전위 성분일 가능성이 큰 것으로 추정되었다. 이어진 일련의 연구에서 이 성분은 N2pc (N2 post-contralateral) 성분으로 명명되었으며 주의

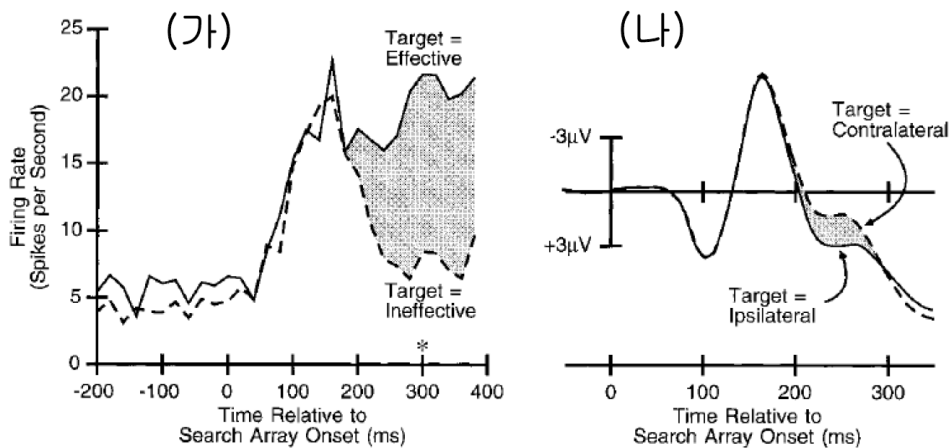


그림 3. 피질 세포 측정을 통해 관찰된 주의 효과와 N2pc 발현 시점의 시간적 일치성. (가) Chelazzi 등 (1993)의 연구에서 얻어진 원숭이 측두 경로의 피질 세포 22개체의 평균 발화율 패턴. 피험 동물인 원숭이는 시야에 제시된 특정 표적을 선별적으로 응시해야 하는 시각 탐색 과제를 수행하였다. 하단의 시간(time relative to search array onset)축에서 영점은 시각 탐색 자극들이 제시된 시점을 의미한다. 300ms 부근의 별(\*)표시는 원숭이가 실제로 응시점 이동을 시작한 지점을 나타낸다. 세포의 수용장내에 표적이 제시된 여부에 따라 크게 차이가 나는 발화율 패턴, 즉 주의 효과는 회색 음영으로 표시된 부분이다 (나) N2pc 원자료 파형의 예 (제시된 자료는 Luck과 Girelli 등(1997)의 논문예 예시된 것을 원저자의 동의하에 발췌하였다)

이동이 발생한 정확한 시간과 초점 주의의 집중도를 가늠할 수 있는 측정치로 간주되고 있다(Eimer, 1996; Hyun, Woodman, & Luck, in press; Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth, & Luck, in press; Luck, 1998, 2005a; Luck & Girelli, 1998; Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997; Woodman & Luck, 1999, 2003a, 2003b).

### N2pc 측정시 자극 설계상의 특징 및 유의점

초기 시각 정보 처리 과정의 조사를 위한 사건 관련 전위 측정에서 무엇보다도 중요한 것은 실험에 사용되는 자극의 특성이다. 이는 실험 조건과 통제 조건간 사건 관련 전위의 차이가 반드시 심리적 처치에 의한 차이가 아니라 자극의 물리적 특성(physical property) 차이에 의해 발생할 수 있기 때문에 매우 중요하다.

예를 들어 문자 'A'와 문자 'B' 중 하나가 매시행마다 무선적으로 선택되어 제시되는 실험을 가정하자. 문자 'A'가 제시될 경우 피험자는 특정 반응을 하고 문자 'B'가 제시되면 아무런 반응도 하지 않도록 요구된다. 이때 측정 결과 문자 'A'가 제시된 시행과 'B'가 제시된 시행에서 유발된 사건 관련 전위가 크게 차이가나는 결과가 얻어졌다 가정하자. 실험자는 이 결과를 문자 'B' 시행에서 요구되지 않은, 문자 'A'와 관련된 특정 반응을 처리하는 심리적 과정에 의한 것이라고 해석할 가능성이 있는데, 이러한 해석은 잘못된 것이다. 그 이유는 'A' 시행과 'B' 시행간 차이는 반드시 'A'와 연계되는 반응을 위한 심리적 처리

뿐만 아니라 글자 자체의 물리적 차이, 즉 글자의 시각적 이미지 차이가 존재하기 때문이다.

대다수의 사건 관련 전위 연구는 일반적으로 물리적 자극 차이의 영향을 최소화하기 위해 다양한 자극 세트를 구성하여 무선화 제시하는 방식을 사용하고 있다. 그러나 자극의 설계과정에서 실험 조건과 통제 조건간 물리적 특성이 조금이라도 체계적 차이(systematic physical difference)로 이어질 경우, 자극의 물리적 특성 차이에 의한 사건 관련 전위 차이를 심리적 처치에 의한 결과로 해석하는 해석 오류로 이어질 가능성이 매우 크다<sup>2)</sup>.

시각적 주의의 영향아래 제시된 자극이 유발시킨 사건 관련 전위의 특징을 알아보기 위한 주의 관련 실험의 경우는 이와 같은 문제점이 더욱 크게 부각된다. 예를 들어 Luck 등(1997)은 N2pc를 측정하기 위한 시각 탐색 화면을 구성함에 있어서 외측성(laterality) 표적, 즉 좌우측 시야중 하나에 반드시 표적이 제시되어야 하는 경우, 표적의 세부 특징을 여러 차례의 반복 시행에서 동일하게 규정할 경우 문제가 됨을 발견하였다. 즉 N2pc의 발현 시점을 조사해 주의 전환 시점을 측정할 경우 외측 표적(lateralized target)이 속한 시야는 표적이 속하지 않은 시야와는 물리적 특성이 다른 자극, 즉 표적을 항상 보유하게 된다. 이는 동측과 대측 차이에 의존하는 N2pc 성분의 측정

2) 이는 Hillyard 원리(Hillyard's Principle)라는 명칭으로 사건 관련 전위 연구자간에 익히 알려져 있는 내용이다. 즉 사건 관련 전위 측정에 있어서 실험과 통제 조건은 심리적 처치(psychological treatment)에 의한 차이만이 존재하는 것이 바람직하며 자극의 물리적 특성상의 차이는 최대한 피해야 한다.

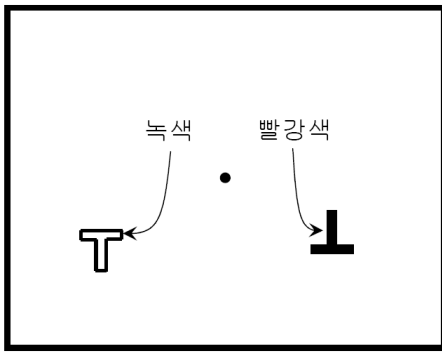


그림 4. Luck과 Girelli 등(1997)의 연구에서 사용된 시각 탐색 과제 화면. 피험자는 역균형화를 위하여 한 시행 구획내에서는 녹색 'T' 글자가 똑바르지 아니면 뒤집어져 있는지를 보고하였고, 다음 구획내에서는 빨간색 'T'에 대하여 동일한 과제를 수행하였다. 시행내에서 피험자는 화면의 정중앙에 제시된 응시점에 시선을 반드시 고정시키고 과제를 수행하도록 지시받는다.

이 자칫하면 주의의 전환 때문이 아닌 자극 세부 특징의 물리적 차이에 의해 발생할 가능성을 의미한다.

이러한 문제점을 극복하기 위한 방법으로 양쪽 시야에 색상이 서로 다른 하나의 자극을 각각 제시하고 하나는 표적 그리고 다른 하나는 방해 자극으로 구획별로 역균형화(counterbalancing)하는 방식을 차용하였다. 예를 들어 그림 4와 같이 시야의 좌우에 빨간색 그리고 녹색의 자극을 각각 제시하고<sup>3)</sup>, 피험자로 하여금 한 구획에서는 적색 항목을 표적으로 규정하여 그 세부 특징(예: 'T'자가 똑바른

3) 일반적으로 N2pc를 측정하기 위한 시각 탐색 자극들을 구성할 때에는 좌우 시야에 단일 자극을 각각 제시하기보다는 탐색 과제 자체와는 직접적 관련이 없는 방해 자극을 추가로 제시한다. 이러한 방해 자극이 있을 경우 N2pc가 더 크게 발현됨이 알려져 있다(Luck, Girelli 등, 1997).

지 거구로인지)을 보고하도록 하고, 다음 구획에서는 녹색 항목의 세부 특징을 보고하게 하였다. 이러한 역균형화는 적어도 빨간색과 녹색의 물리적 차이에 의한 두피 전위의 차이를 구획간 평균(averaging)에 의해 상쇄시켜 앞서 지적한 자극 특성에 의한 문제점을 최소화시켜 준다.

### N2pc 진폭과 발현 시간

다른 뇌 영상 기법에서 주로 사용되는 감산법(subtraction method)은 N2pc를 측정하는 과정에 있어서도 중요하다. N2pc 성분은 앞에서 살펴본 바와 같이 표적을 포함한 시각 탐색 화면 제시후 약 200ms이후에 나타나는 표적을 기준으로 동측과 대측 전극에서 측정되는 파형의 차이를 그 발현 지표로 삼는다. 중요한 것은 동측과 대측 차이의 방향성인데 동측에 비해 대측의 진폭(amplitude)이 반드시 상대적으로 음극화(negative going)되어야만 표적의 위치로 주의가 전환되었음을 추정할 수 있다.

동측과 대측의 차이를 통해 주의의 발현을 살펴보기 위해 고려해야 할 차원은 진폭(amplitude)과 발현 시간(onset latency)이다. 동측과 대측의 진폭 차이, 즉 N2pc 성분의 크기에 대해서는 현재까지 정확히 알려진 바는 없으나 초점주의의 집중 강도(degree of focused attention)를 반영한다고 설명되어왔다. 즉, 일반적으로 평균 진폭(mean amplitude)을 통해 수량화되는 N2pc 성분의 크기가 클수록 주의의 집중 정도가 강력하다고 설명한다.

그러나 이러한 설명에는 다소 무리가 뒤따른다. 이는 평균된 사건 관련 전위의 진폭 크



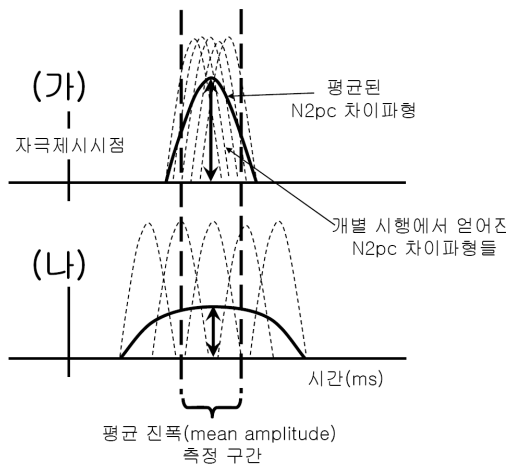


그림 5. (가) 개별 시행에서 특정 시점 부근에 집중적으로 동측과 대측의 차이가 나타나는 경우. (나) 일정한 시점에 집중되지 않고 분산되는 경우. (나)의 경우, 특정 구간내에서 측정된 동측과 대측의 차이는 동일한 구간내에서 측정된 (가)의 경우보다 결과적으로 크게 적어지게 된다.

기 차이는 반드시 개별 시행의 진폭 차이뿐만 아니라 개별 시행내 N2pc 발현 시간(onset latency)의 체계성에 의해 결정될 수 있기 때문이다. 즉 반복되는 여러 시행에서 특정 시점에 집중적으로 동측과 대측의 차이가 나타나는 경우, 개별 시행의 대측-동측간 차이를 평균해서 얻어진 차이 파형(difference waves)은 그림 6의 (가)와 같을 수 있다. 그러나 개별 시행내에서 발현 시간이 체계적이지 못하거나 일정한 시점에 집중되지 않고 분산되는 경우의 차이 파형은 (나)에서와 같이 진폭 차원에서는 상대적으로 과소 평가될 가능성이 있다 (Luck, 2005a). 따라서 N2pc 성분을 조사하여 해석하는 경우는 반드시 대측과 동측의 진폭 차이만이 아니라 발현시간에 대한 면밀한 조사 또한 이루어지는 것이 바람직하다.

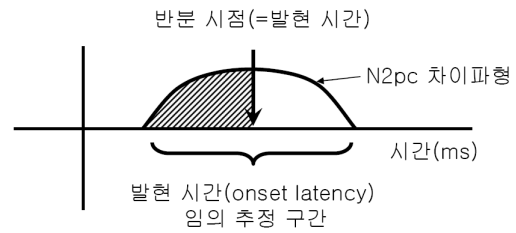


그림 6. 분할 시점(cut-off latency)을 찾아내기 위해 반분법(50% fractional area latency measurement)을 사용한 예. N2pc 파형 중 임의의 일정 시간 구간내 대측과 동측간 차이 파형의 전체 면적을 일정 비율(50%)로 양분하는 시점을 찾아낸다.

사건 관련 전위의 발현 시간을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 대표적인 것으로는 분할 시점(cutoff latency)을 찾아내는 방법이 있다. 이 방법은 단편 면적 시간 분석법(fractional area latency analysis)이라고 불리며 그림 6에 도해된 바와 같이 N2pc 파형 중 임의의 일정 시간 구간내 대측과 동측간 차이 파형의 전체 면적을 일정 비율로 양분하는 시점을 찾아낸다. 이 방법은 실험과 통제 조건간 차이가 일정 수준에 도달하는 정확한 시간을 찾아낸다는 점에서 대측과 동측의 차이에 의존하는 N2pc와 같은 성분의 발현 시점을 측정하는데 적절하다(Hyun, Woodman, Vogel et al., in press; Luck, 2005a; Woodman & Luck, 2003b).

그러나 분할 시점을 찾아내기 위해 일정 구간을 임의적으로 선정해야 한다는 단점이 존재한다. 예를 들어 N2pc의 경우, 전체 평균 파형을 통해 대략적으로 동측과 대측에 차이가 나타나기 시작하는 시점부터 사라지는 시점까지를 (대략 200-400ms) 임의로 설정해 개별 피험자별로 설정된 구간내에서 분할 시점을 찾

아내게 되므로 편향(bias)에 매우 취약할 수 있다. 따라서 조사하고자 하는 사건 관련 전위 성분의 일반적인 발현 시점 구간보다 여유있게 구간 크기(window size)를 설정하여 그 구간 내에 반드시 조사하고자 하는 사건 관련 전위 성분의 발현 시점이 포함되게 함으로써 구간 크기 임의 설정에 의한 체계적 왜곡을 막고자 노력해야 한다.

이러한 체계적 왜곡을 최소화하고자 최근에는 적은 수의 피험 동물로부터 얻어진 신경생리학적 자료를 분석하는데 자주 사용되는 부트스트래핑(bootstrapping)이나 무선 재표집(random re-sampling) 분석법등이 응용된 경우도 있었다. 대략적으로 이 방법들은 먼저, 원자료에서 무선 재표집된 유사 표집군(quasi-samples) 자료를 구성한다. 다음 단계로, 비교되는 두 조건간에 실험적 처치가 아닌 무선적으로 발생 가능한 뇌파 차이의 기준을 유사 표집군 자료로부터 찾아낸다. 그리고 조사된 이 기준 이상의 차이가 나타나는 시점을 측정된 EEG 자료에서 발견해낸다(Yigal, Hyun, Danker, Feng et al., in press). 부트스트래핑이나 무선 재표집은 분석 구간을 임의적으로 설정하는 분할법에 비해 구간 설정에 있어서 좀 더 정량화된 기준을 사용한다는 장점이 있으나, 원자료의 분량이 방대할 경우 계산적으로 매우 복잡해진다는 단점이 있다. 또한 측정 전 구간에 걸쳐 발생하는 가능한 모든 차이(any differences)들을 대상으로 하지만, 궁극적으로는 효율성을 위해 측정 구간 자체를 연구자가 설정해야 한다는 점에서 구간 임의 설정이라는 약점에서 벗어날 수 없다.

결과적으로 볼 때, N2pc 분석에 있어서 중

요한 것은 대측과 동측의 진폭 차이 및 발현 시간 양쪽 모두를 주의 깊게 조사할 필요가 있다는 점이다. 진폭 차이 자체만으로는 실제로 주의 집중의 유무를 논하기 어려운 경우가 있으며, 발현 시간을 추가적으로 분석한 경우라 할지라도 분석 구간 설정이 잘못될 수 있으므로 원자료 파형을 면밀히 검토해 구간 설정에 정확성을 기할 필요가 있다.

### 기타 N2pc 측정시 유의할 점

앞에서 개괄한 바와 같이 N2pc는 주의 전환 시점과 초점주의의 집중도를 측정할 수 있는 전기 생리학적 측정치다. 그러나 비교적 발현 시간이 상대적으로 긴 다른 사건 관련 전위 성분들(예: P3, N400, P600)에 비해 초기 시각 정보 처리 과정에서 관찰되는 사건 관련 전위 성분들(예: C1, P1, N1, N2)등은 발현 시간 및 성분 자체의 크기도 매우 짧고 작다. 따라서 N2pc의 측정은 비교적 높은 신호-대-잡음 비율(signal-to-noise ratio)을 필요로 한다<sup>4)</sup>.

일반적으로 난이도가 평이한 시각 탐색 과제를 통해 N2pc를 측정할 경우, 단일 조건에

4) 두피 전위 측정시 존재하는 다양한 잡음들은 특정 주파수만 필터링(notch filtering)하거나 일정 대역을 필터링(bandpass filtering)함으로써 뇌파 측정 이후에 오프라인에서 선별적으로 걸러낼 수 있다고 믿기 쉽다. 그러나 일단 측정이 이루어지고 나면 어떤 형태의 오프라인 필터를 적용하여도, 원자료 측정 과정에서 잡음 수준을 낮추는 것 보다 양질의 파형을 확보하는데 도움을 줄 수는 없다. 즉 오염된 자료를 측정 후 교정하는 것보다는 측정시 자료가 오염되지 않도록 최대의 노력을 기울이는 것이 무엇보다 중요하다(luck, 2005a)

서 대측과 동측의 차이 파형을 얻어내기 위해 이상적인 반복 시행수는 약 200시행 정도로 알려져 있다(Luck, 2005a). 그러나 200이라는 시행수는 대략적인 어림값일 뿐 실제 측정 장소나 기구의 전기적 잡음 수준에 따라 더 적은 수의 시행에서도 비교적 뚜렷한 N2pc 파형이 얻어지는 경우도 흔히 있다. 이는 이미 알려진 바와 같이 뇌파 측정 실험에서 높은 신호-대-잡음 비율, 즉 깨끗한 파형을 얻어내기 위해서는 무엇보다도 효율적인 과제 및 자극 설계를 통해 신호의 수준을 높이고, 측정 기구와 장소에서 발생하는 다양한 잡음을 차단하는 것이 중요하다.

N2pc를 측정함에 있어서 수평 눈운동(horizontal eye movement)이 발생한 시행을 제거하는 것은 다른 어느 것 보다 중요하다. 후두부로부터 안구 방향을 향하는 쌍극 전류(dipole current)는 후두부 부근에서 응시 방향의 반대 방향에 위치한 두피에서 그렇지 않은 두피보다 더 음극화된 두피 전위를 유발시킨다. 따라서 일반적인 시각 탐색 과제에서 표적의 위치로 빈번히 눈이 이동할 가능성을 고려할 때, 안구 운동에 의한 쌍극 전류 방향의 변화와 N2pc 측정시 대측 시행에서 얻어진 전위 음극화의 방향이 완벽하게 일치할 가능성이 커지게 된다. 결국 표적 위치로 수평 눈운동이 발생한 시행에서는 눈운동에 의해 변화한 쌍극 전류에 의해 N2pc가 과장될 가능성이 있다. 주의 전환과 안구 운동의 유관(contingency)을 고려할 때 그 방향성이 일치한다는 점에서는 부분적 오염은 문제가 되지 않을 수 있으나(Hyun, Woodman, Vogel et al., in press), 주의 전환과 안구 운동을 독립적으로 측정해야 하

는 과제의 경우는 심각한 문제가 된다. 따라서 N2pc 측정 실험시 피험자는 반드시 응시점에 시선을 고정시켜야 하며, 그럼에도 불구하고 수평 눈운동이 발생한 시행은 사후 분석을 통해 자료 분석에서 제거되는 것이 바람직하다<sup>5)</sup>.

수평 눈운동 오염과 유사한 원인에 의해 N2pc는 피험자의 반응에 있어서 양손을 사용할 경우의 반응 버튼의 방향성에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 예를 들어, 주어진 시각 탐색 과제가 표적이 좌측 시야에 존재하는지 우측 시야에 존재하는지를 보고하는 표적위치 보고과제(target localization task)라고 가정하자. 일반적으로 피험자는 좌 또는 우측에 존재하는 표적을 반응 단추(response button)에 대응시키는 과정에서 두 단추가 좌우로 배열되어 있을 경우 특별한 지시가 주어지지 않은 이상 좌측 손은 좌측 단추에, 우측 손은 우측 단추에 위치시킬 가능성이 크다. 따라서 표적의 위치와 반응 단추를 누르는 양쪽 손간에 자연스런 좌우 대응이 이루어지는데 그 결과 측정된 자료는 외측 준비 전위(lateralized readiness potentials, LRPs)에 의해 오염될 가능성이 크다. 외측 준비 전위는 표적 자극의 좌우 방향성을 보고해야하는 과제에서 흔히 관찰되는 전위로, 피질 수준이 아니라 외측성 운동 반

5) 눈운동이나 눈깜박거림등을 수리적 모형을 적용시켜 교정(artifact correction)하는 방법이 최근에 선호되고 있다. 그러나 사후 필터링의 경우와 마찬가지로 이유로 인해 수리적 교정 또한 체계적인 자료의 오염을 피하기가 매우 어렵다. N2pc 분석에 있어서는 교정 보다는 눈운동이나 눈깜박거림이 발생한 시행을 가급적이면 제거(artifact rejection)하는 것을 권장하기도 한다(Luck, 2005a).

응(lateralized motor response)을 관장하는 뇌 심층 부위에 그 근원이 있음이 알려져 있다 (Dehaene et al., 1998; Luethold, Sommer, & Ulrich, 1996; Miller, Patterson, & Ulrich, 1998; Schwarzenau, Falkenstein, Hoormann, & Hohnsbein, 1998). 따라서 N2pc와 같이 그 근원이 운동과 관련된 뇌구조가 아닌 피질 수준에 있는 사건 관련 전위 성분의 경우, 외측성 전위는 정확한 해석을 어렵게 만드는 오염 변인이 될 수 있다. 반응 과정에서 발생하는 외측성 전위를 제거하기 위해서는 각 시행 구획(trial block)내에서 반드시 한 손만을 사용하여 반응토록 지시하되, 반복되는 각 구획에 걸쳐 좌우 손을 번갈아 바꿔주는 역균형화를 실시하는 것이 권장된다<sup>6)</sup>.

## 결 론

시각적 주의의 전환 과정을 연구하기 위해 N2pc 측정법은 시간적으로 우수한 해상력을 확보할 수 있으며, 주의 전환 과정을 실시간으로 조사할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 실제 측정 과정에서 실험 과정과 자료의 분석 과정에 있어서 세심한 주의를 기울이지 않을 경우 여러 가지 가외 변인에 노출되어 자료가 심각하게 오염될 수 있다. 본 논문은 기존 연구에 근거하여 N2pc 측정에서 발생할 수 있는

6) 일반적으로 한 손만을 사용하여 두 개 이상의 단추를 눌러 반응하는 것은 외측화된 표적(lateralized target)의 위치와 직접적인 상관이 존재하는 것은 아니므로 N2pc 파형의 대측과 동측간 차이에 크게 영향을 미치지 않는다. 따라서 한손만을 사용하는 것은 필수이나 구획간 역균형화는 권장사항이다.

문제점을 지적하고 해결 방안을 제시해 보았다.

N2pc와 관련된 신경 생리학적 연구들 중, 원숭이 연구는 N2pc의 발현 시간과 시각 정보 처리 경로 중 측두 경로(예: V4, IT)의 피질 세포들의 주의 관련 발화 시점이 정확히 일치함을 보여주었다 (Luck, 1994, 1998, 2005a, 2005b; Luck, Chelazzi et al., 1997; Luck, Girelli et al., 1997; Luck et al., 2000). 최근의 자기 투영법(magnetoencephalography) 결과는 N2pc의 발현과 관련된 피질 수준의 정확한 국재화(cortical localization)에 성공함으로써 주의의 전환 측정법으로써의 N2pc 연구의 신뢰성을 더욱 배가시켰다(Hopf, Boelmans, Schoenfeld, Heinze, & Luck, 2002; Hopf, Boelmans, Schoenfeld, Luck, & Heinze, 2004; Hopf et al., 2006; Hopf et al., 2000). 시간적 정확성과 비용상의 효율성을 고려할 때, 천분의 일초 단위로 변화하는 시각 정보 처리에서 주의 전환 과정을 조사하려면 N2pc와 같은 사건 관련 전위 측정법만큼 수월한 연구 방법이 흔하지 않음을 쉽게 이해할 수 있다.

그러나 뇌의 활동을 직간접적으로 관찰하는 다른 많은 측정법들과 마찬가지로 잘못된 측정법은 결과 해석의 심각한 오류로 이어질 수 있다. 이러한 오류를 방지하기 위하여, 본 개괄 논문은 몇 가지 주의할 사항을 제시하고 있다. 첫째, 실험 조건과 통제 조건간 가능한 동일한 자극을 사용하고 실험의 처치는 반드시 실험자의 지시에 의해 이루어질 수 있도록 한다. 둘째, 측정된 N2pc 파형의 분석은 가능하면 진폭과 발현 시간 양쪽 측면에서 수행되어야 한다. 셋째, N2pc 측정은 비교적 높은

수준의 신호-대-잡음 비율이 필요하므로 측정 과정 당시에 최대한 잡음을 제거하고 신호 수준을 높이는 것이 바람직하다.

마지막으로, 주의 전환 과정을 조사하기 위해 한 가지 방법론이 절대적으로 중요할 순 없다. 시간적 해상력이 우수한 사건 관련 전위도 다른 여러 측정 방법에 비해 매우 취약한 공간 해상력을 보여준다. 이는 주의 전환을 측정하기 위해 대뇌의 활동을 종합적으로 살펴보기 위해서는 N2pc 측정뿐 아니라 자기 공명법(fMRI)이나 자기 투영법(MEG) 및 실험 동물을 사용한 단일 세포 측정법(single-unit recording)까지 다양한 방법론에 의존할 필요가 있음을 의미한다. 그럼에도 불구하고 이러한 생리적 측정치들이 인간의 행동 자체를 설명할 수는 없으며 주어진 인지 및 지각적 과제를 수행하는 과정에서 관찰되는 행동 측정치 (behavioral results)와 어떤 연관성을 가지고 있는지 밝혀내는 것이 무엇보다도 중요하다. 행동적 자료에 대한 이해 없이 N2pc 결과를 통해 주의의 전환 과정을 이해하는 것은 불가능하며, N2pc 측정치 없이 행동적 결과만을 논하는 것 또한 시각적 주의 과정의 심층적 기제를 논하기에는 무리가 따른다. 따라서 향후 시각적 주의 전환에 대한 연구는 생리적 그리고 행동적 지표를 모두 고려한 수렴적 접근 (converging approach)에 중점을 두는 것이 바람직할 것이다.

### 참고문헌

Agam, Y., Hyun, J. -S., Danker, J. F., Zhou F., Kahana, M., & Sekuler, R. (2009). Early

neural signature of visual short-term memory. *NeuroImage*, 44(2), 531-536.

Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'H, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., et al. (1998). Imaging unconscious semantic priming. *Nature*, 395, 597-600.

Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 225-234.

Gratton, G., Fabiani, M., Corballis, P. M., Hood, D. C., Goodman-Wood, M. R., Hirsch, J., et al. (1997). Fast and localized event-related optical signals (EROS) in the human occipital cortex: comparisons with the visual evoked potentials and fMRI. *Neuroimage*, 6(3), 168-180.

Hillyard, S. A., & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 95, 781-787.

Hillyard, S. A., Teder-Sälejärvi, W. A., & Münte, T. F. (1998). Temporal dynamics of early perceptual processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 202-210.

Hopf, J.-M., Boelmans, K., Schoenfeld, A. M., Heinze, H.-J., & Luck, S. J. (2002). How does attention attenuate target-distractor interference in vision? Evidence from magnetoencephalographic recordings. *Cognitive Brain Research*, 15, 17-29.

- Hopf, J.-M., Boelmans, K., Schoenfeld, A. M., Luck, S. J., & Heinze, H.-J. (2004). Attention to features precedes attention to locations in visual search: Evidence from electromagnetic brain responses in humans. *Journal of Neuroscience*, *24*, 1822-1832.
- Hopf, J.-M., Luck, S. J., Boelmans, K., Schoenfeld, M. A., Boehler, N., Rieger, J., et al. (2006). The neural site of attention matches the spatial scale of perception. *Journal of Neuroscience*, *26*, 3532-3540.
- Hopf, J.-M., Luck, S. J., Girelli, M., Hagner, T., Mangun, G. R., Scheich, H., et al. (2000). Neural sources of focused attention in visual search. *Cerebral Cortex*, *10*, 1233-1241.
- Hyun, J.-S., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (in press). The role of attention in the binding of surface features to locations. *Visual Cognition*.
- Hyun, J.-S., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (in press). The comparison process of visual working memory representations with perceptual inputs. *Journal of Experimental Psychology*.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance IX* (pp. 187-203). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Luck, S. J. (1994). Cognitive and neural mechanisms of visual search. *Current Opinion in Neurobiology*, *4*, 183-188.
- Luck, S. J. (1998). Neurophysiology of selective attention. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 257-295). East Sussex: Psychology Press.
- Luck, S. J. (2005a). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Luck, S. J. (2005b). The operation of attention—millisecond by millisecond—over the first half second. In H. Ogmen & B. G. Breitmeyer (Eds.), *The First Half Second: The Microgenesis and Temporal Dynamics of Unconscious and Conscious Visual Processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Luck, S. J., Chelazzi, L., Hillyard, S. A., & Desimone, R. (1997). Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, *77*, 24-42.
- Luck, S. J., & Girelli, M. (1998). Electrophysiological approaches to the study of selective attention in the human brain. In R. Parasuraman (Ed.), *The Attentive Brain* (pp. 71-94). Cambridge, MA: MIT Press.
- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: An ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cognitive Psychology*, *33*, 64-87.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1990). Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception and Psychophysics*, *48*, 603-617.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial

- filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1000-1014.
- Luck, S. J., Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 432-440.
- Luethold, H., Sommer, W., & Ulrich, R. (1996). Partial advance in formation and response preparation: Inferences from the lateralized readiness potential. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 307-323.
- Mangun, G. R. (1987). *Mechanisms of visual selective attention: Analyses with event-related brain potentials in humans. Doctoral Dissertation:* University of California, San Diego.
- Mangun, G. R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. *Psychophysiology*, 32, 4-18.
- Mangun, G. R., Hansen, J. C., & Hillyard, S. A. (1987). The spatial orienting of attention: Sensory facilitation or response bias? In J. R. Johnson, J.W. Rohrbaugh and R. Parasuraman (Ed.), *Current Trends in Event-Related Potential Research* (pp. 118-124). Amsterdam: Elsevier.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1988). Spatial gradients of visual attention: Behavioral and electrophysiological evidence. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70, 417-428.
- Maunsell, J. H. R., & Newsome, W. T. (1987). Visual processing in monkey extrastriate cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 10, 363-401.
- Miller, J., Patterson, T., & Ulrich, R. (1998). Jackknife-based method for measuring LRP onset latency differences. *Psychophysiology*, 35, 99-115.
- Mueller, H. J., & Rabbit, P. M. A. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 315-330.
- Nakayama, K., & Mackeben, M. (1989). Sustained and transient components of focal visual attention. *Vision Research*, 29, 1631-1647.
- Schwarzenau, P., Falkenstein, M., Hoormann, J., & Hohnsbein, J. (1998). A new methods for the estimation of the onset of the lateralized readiness potential(LRP). *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 30(1), 110-117.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40, 201-237.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.
- Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 459-478.

- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400, 867-869.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003a). Dissociations among attention, perception, and awareness during object-substitution masking. *Psychological Science*, 14, 605-111.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003b). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 121-138.
- 1 차원고접수 : 2008. 11. 24.  
최종게재결정 : 2008. 12. 12.



## The Properties and Measurements of N2pc component Evoked by A Target in Visual Search

Joo-Seok Hyun

Department of Psychology, Chung-Ang University

This review aims to specify problems and to explain the reason why they occur when measuring event-related potentials (ERPs)--N2pc(N2 post-contralateral) component often used in recent studies of visual attention. For these purposes, an overview of N2pc measurement technique to observe an attention shift in visual search was provided, and several solutions for the problems were discussed. Presence of N2pc component is determined according to a more negative-going potential in EEG amplitude measured from the electrodes that are contralateral to the target than those ipsilateral, elicited about 200ms after the search array onset. Generally, the amplitude difference between the contra- and ipsilateral electrodes becomes maximal when attention shifts to the target location, and the moment of this attention shift can be sought by systematic tests of the amplitude and latency of N2pc component. N2pc measurement requires high signal-to-noise ratio, and this can be accomplished by minimizing any noise occurring when EEGs are initially recorded online. Eye movements to a target position can exaggerate the N2pc contra-ipsi difference and thus trials with saccades toward the target position are typically rejected rather than corrected. To minimize lateralized readiness potentials (LRPs) possibly evoked by any lateralized search target, it is recommended to use only one hand for responses while switching the hand across blocks to counterbalance handedness.

*Key words : attention shift, event-related potentials, N2pc, visual search*