

고역통과필터 값이 P300의 파형에 미치는 영향*

Effects of high pass filter settings on P300 waveform

엄진섭^{**,***} · 음영지^{***} · 손진훈^{***} · 박광배^{**†}

Jin-Sup Eom^{**,***} · Young-Ji Eum^{***} · Jin-Hun Sohn^{***} · Kwang-Bai Park^{**†}

충북대학교 심리학과^{**}

Department of Psychology, Chungbuk National University^{**}

충남대학교 심리학과/뇌과학연구소^{***}

Department of Psychology, Brain Research Institute, Chungnam National University^{***}

Abstract

The present study is a partial extension of the Duncan-Johnson and Donchin (1979) and Soskins, Rosenfeld, and Niendam (2001) studies that found some effects of high pass filter (HPF) setting on P300 waveform. EEGs were recorded while the subjects performed a visual three-stimulus oddball task, and the Fz and Pz EEG signals were passed through 0.01 Hz, 0.3 Hz, and 1.0 Hz HPFs. P300 amplitudes at Fz and Pz were reduced at 1.0 Hz HPF compared to 0.01 Hz and 0.3 Hz HPFs. The negative peaks post P300 at Fz and Pz were not observed at 0.01 Hz HPF, but observed at 0.3 Hz and 1.0 Hz HPFs. The combination of 0.3 Hz HPF and peak-to-peak P300 measures was more useful than that of 0.01 Hz, 0.3 Hz, or 1.0 Hz HPF and baseline-to-peak P300 measures to discriminate between non-target and standard stimuli. The peak-to-peak P300 measures were more useful than the baseline-to-peak P300 measures at 1.0 Hz HPF setting.

Keywords : ERP, P300, high pass filter, three-stimulus oddball task, concealed information test

요약

본 연구는 Duncan-Johnson과 Donchin(1979)과 Soskins, Rosenfeld와 Niendam(2001)의 연구를 부분적으로 확장한 것으로, EEG를 측정할 때 사용하는 고역통과필터의 값이 P300의 파형에 미치는 영향을 관찰하였다. 시각 자극을 이용한 세자극 오드볼 과제를 수행하는 동안 뇌파를 측정하였으며, Fz와 Pz에서 측정된 뇌파를 0.01Hz, 0.3Hz와 1.0Hz의 고역통과필터를 사용하여 여과시켰다. 0.3Hz의 고역통과필터를 사용한 경우에는 P300 진폭이 크게 감소하지 않았지만, 1.0Hz의 고역통과필터는 P300의 진폭을 크게 감소시켰다. 0.01Hz의 고역통과필터를 사용한 경우에는 P300 이후 부적 정점이 나타나지 않았으며, 0.3Hz와 1.0Hz의 고역통과필터를 사용한 경우에는 P300 이후 부적 정점이 관찰되었다. 비목표자극과 표준자극에 대한 P300의 진폭을 변별할 때에는 0.3Hz 고역통과필터와 정점-정점 P300 측정치를 사용하는 것이 0.01Hz나 0.3Hz, 1.0Hz 고역통과필터와 기저선-정점 측정치를 사용하는 것보다 더 효율적인 경향이 있었으며, 1.0Hz의 고역통과필터를 사용한 경우에는 정점-정점 P300 측정치가 기저선-정점 P300 측정치보다 더 유용한 경향이 있었다.

주제어 : ERP, P300, 고역통과필터, 세자극 오드볼 과제, 숨긴정보검사

* 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2009-0084146).

† 교신저자 : 박광배 (충북대학교 심리학과)

E-mail : kwangbai@chungbuk.ac.kr

TEL : 043-261-2195

FAX : 043-271-1713

1. 서론

뇌파(electroencephalography: EEG)를 측정할 때, 대뇌의 신경세포 활동에 기인하지 않는 잡음(noise)을 제거하기 위하여 두 가지 종류의 아날로그 필터를 사용한다. 한 가지는 저주파 성분을 제거하기 위하여 사용하는 고역통과필터(high pass filter: HPF)이고, 다른 한 가지는 고주파 성분을 제거하기 위하여 사용하는 저역통과필터(low pass filter: LPF)이다. 그러나 HPF는 사건관련전위(event-related potential: ERP)의 파형을 변형시키고, ERP 성분의 크기와 잠재시간을 변형시키며, 인공적인 정점(artificial peaks)을 만들어낼 수 있다(Luck, 2005).

ERP의 여러 성분들 중에서 자극제시 후 250ms~600ms 사이에 나타나는 정적 정점을 P300 또는 P3이라고 하는데, P300은 가장 많이 연구되고 있는 ERP 성분으로 인지과정을 반영하는 것으로 알려져 있다(Kok, 2001). 한국학술정보의 학회지 원문서비스(<http://search.koreanstudies.net>)와 한국교육학술정보원에서 제공하는 학술연구정보서비스(<http://www.riss.kr>), 누리미디어의 학술논문지식베이스(<http://www.dbpia.co.kr>)에서 ‘P300’과 ‘ERP’를 검색어로 하여 2000년 이후 국내에서 발행된 연구논문을 검색한 결과, ERP의 P300 성분에 관한 논문이 35편 있었다. 이 논문들은 다양한 HPF를 사용하였는데, 0.1Hz 미만의 HPF를 사용한 논문이 11편이었으며, 0.1Hz대의 HPF를 사용한 논문이 10편이었고, 0.3Hz의 HPF를 사용한 논문이 2편, 0.5~1.0Hz의 HPF를 사용한 논문이 8편 있었다. 0.05Hz 미만의 아날로그 HPF를 사용한 논문 중 3편은 뇌파측정이 끝난 후에 1.0Hz 디지털 HPF를 사용하여 저주파 성분을 제거하였다(표 1).

표 1. P300 연구에 사용된 HPF

고역통과필터(HPF)	연구 논문 수
0.001~0.05	11(8)
0.10~0.16	10
0.30	2
0.50~1.0	8(11)
기록 없음	4
전 체	35

주) 괄호 안은 디지털 HPF를 포함한 경우임.

을 실험참여자들에게서 직접적으로 살펴본 연구 논문들이 있다(Duncan-Johnson & Donchin, 1979; Soskins, Rosenfeld, & Niendam, 2001). Duncan-Johnson과 Donchin(1979)은 단순한 오드볼 과제(oddball task)를 이용한 실험에서 뇌파의 저주파성분을 제거하기 위한 시정수(time constant)가 ERP의 파형에 미치는 영향을 관찰하였는데, 시정수 0.1, 0.3, 1.0, 및 10.0s(HPF로 변환하면), 각각 1.60, 0.53, 0.16, 및 0.016Hz를 사용하여 Cz와 Pz의 뇌파를 기록하였다.

오드볼 과제에서는 제시빈도가 서로 다른 두 개의 자극을 무선적인 순서로 하나씩 제시하며, 드물게 제시되는 목표자극에 특정 반응을 하도록 지시하고, 빈번히 제시되는 표준자극에는 반응하지 않도록 지시한다. ERP의 성분 중 P300의 진폭은 자극의 제시빈도, 과제와의 관련성, 자극의 의미 등에 의해서 결정되는 것으로 알려져 있는데(Johnson, 1986), 오드볼 과제에서는 제시빈도가 낮으면서 과제와 관련된 자극인 목표자극에서 큰 진폭의 P300이 관찰된다.

Duncan-Johnson과 Donchin(1979)이 1명의 실험참여자 관찰한 결과, 시정수가 짧을수록(즉, HPF의 값이 높을수록) 목표자극에 대한 P300의 진폭과 P300의 잠재시간이 짧아지는 것으로 나타났다. Duncan-Johnson과 Donchin(1979)은 자신들의 관찰결과에 기초하여 가능한 낮은 Hz의 HPF를 사용할 것을 권고하였다.

Duncan-Johnson과 Donchin(1979)이 0.016~1.6Hz의 HPF와 P300 진폭 및 P300 잠재시간 간의 관계에 관심을 가졌던 반면, Soskins 등(2001)은 0.3Hz의 HPF와 P300 이후에 나타나는 인공적인 부적 정점 간의 관계에 관심을 가졌다. Soskins 등(2001)은 단순 오드볼 과제와 함께 P300-기반 숨긴정보검사(P300-based concealed information test: P300 CIT)를 이용한 실험을 통하여, 0.01Hz와 0.3Hz의 HPF 값과 두 가지 종류의 P300 측정치가 자극 유형 간의 P300 측정치 차이에 미치는 영향을 검증하였다. 즉, HPF와 P300 측정방법이 목표자극과 표준자극 간의 P300 측정치 차이에 미치는 영향을 검증하였다.

P300 CIT는 거짓말 탐지 기법 중 한 가지로, 피검자가 조사 중인 사안과 관련된 특정 사실을 알고 있는지의 여부를 파악하는데 사용된다. 예를 들면, 범행에 사용된 특정 흉기를 범죄 용의자가 알고 있는지를 검사하는 방법으로 사용될 수 있다. P300 CIT에서는

아날로그 HPF가 ERP의 P300 파형에 미치는 영향

1) 시정수는 동등한 HPF로 변환될 수 있다.
 $HPF = 1 / 2\pi \text{시정수}$

조사 중인 사안과 직접적으로 관련된 자극(관련자극, 예: 범행에 사용된 특정 흉기)과 조사 중인 사안과 직접적으로 관련되지 않는 자극들(무관련자극, 예: 범행에 사용되지 않은 다른 종류의 흉기들)을 피검사자에게 하나씩 무선적으로 반복해서 제시한 후, 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 큰지를 비교하여, 범죄 용의자가 특정 사실을 알고 있는지의 여부를 판단한다.

P300의 진폭을 측정하는 방법은 일반적으로 기저선-정점(baseline-to-peak) 방법이 널리 사용되며, 일부에서는 정점-정점(peak-to-peak) 방법도 사용된다. 기저선-정점 방법은 자극제시 전의 전위 값과 P300의 전위값 간의 차이를 P300 측정치로 사용하며, 정점-정점 방법은 P300의 전위값과 P300 이후에 나타나는 부적 정점의 전위값 간의 차이를 P300 측정치로 사용한다.

Soskins 등(2001)이 P300 CIT를 이용하여 실험한 결과, Pz의 데이터에 대해서 0.01Hz HPF를 사용한 경우에는 P300 이후에 부적 정점이 나타나지 않았지만, 0.3Hz HPF를 사용한 경우에는 P300 이후에 인공적인 부적 정점이 나타났다. 거짓말 관련자극과 거짓말 무관련자극간 P300 진폭을 비교한 결과, 0.01Hz HPF와 기저선-정점 P300 측정치를 이용한 경우와 0.3Hz HPF와 기저선-정점 P300 측정치를 이용한 경우보다 0.3Hz HPF와 정점-정점 방법을 이용하는 경우가 거짓말 탐지에 더 효율적인 것으로 나타났다. 또한, P300 이후에 나타나는 부적 정점만으로도 77%의 거짓말 탐지율을 보였다. 단순 오드볼 과제를 이용한 실험에서도 P300 CIT의 결과와 동일하게, 0.3Hz HPF를 사용한 경우에는 P300 이후에 부적 정점이 나타났으며, 0.01Hz HPF를 사용한 경우에는 P300 이후 부적 정점이 나타나지 않았다. 그러나, 목표자극과 표준자극 간의 P300 진폭 차이는 HPF의 값과 P300 측정방법에 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, P300 이후에 나타나는 부적 정점이 목표자극과 표준자극간의 P300 측정치 차이에 큰 기여를 하지 못하는 것으로 나타났다.

Soskins 등(2001)은 0.3Hz HPF를 사용한 경우에 나타나는 P300 이후의 부적 정점이 용량결합(capacitive coupling)과 관련된 신호 왜곡이긴 하지만, P300 이후의 부적 정점이 복잡한 인지과제의 처리와 관련되어 있으며, 0.3Hz HPF와 정점-정점 방법의 P300 측정치를 사용하는 것이 P300 CIT의 효율성을 높이는 방법이라고 결론지었다.

본 연구는 Duncan-Johnson과 Donchin(1979)의 연구

와 Soskins 등(2001)의 연구를 부분적으로 확장한 것이다. Duncan-Johnson과 Donchin(1979)은 넓은 범위의 HPF(0.016~1.6Hz)가 P300의 진폭과 잠재시간에 미치는 영향을 살펴보기는 하였지만, Cz와 Pz의 자료만을 사용하였으며, 높은 Hz의 HPF를 사용할 때 P300 이후에 나타나는 인공적인 부적 정점에 대해서는 언급하지 않았다. 반면, Soskins 등(2001)은 Pz의 자료에 대해서 상대적으로 낮은 주파수(0.01Hz와 0.3Hz)의 HPF를 사용하여 P300 이후에 나타나는 부적 정점의 기능을 검증하였다. 국내 연구들이 다양한 Hz(0.001~1.0Hz)의 HPF를 사용한다는 점과 연구 목적에 따라서 Fz의 자료도 중요하다는 점을 고려하여, 본 연구에서는 0.01~1.0Hz의 HPF가 Fz와 Pz에서 측정된 P300의 파형에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 방법

2.1. 실험참여자

대학생과 일반인 8명이 실험에 자원하여 참여하였다. 남자가 3명, 여자가 5명이었으며, 평균연령은 31세(범위 24~45세)였다. 실험참여자들은 신경과나 정신과적 병력이 없다고 응답하였으며, 실험참여에 대한 금전적 보상을 받았다.

2.2. 자극 및 실험절차

세자극 오드볼 과제를 사용하여 실험을 실시하였다. 세자극 오드볼 과제는 목표자극과 표준자극을 변별하는 오드볼 과제에 세 번째 자극인 비목표자극을 추가한 것으로, 목표자극과 거짓말 관련자극, 거짓말 무관련자극으로 구성되는 P300 CIT와 자극의 구성이 유사하다. 비목표자극과 표준자극은 모두 동일한 반응을 하도록 지시하는 자극이지만, 비목표자극은 표준자극보다 제시빈도가 적으므로, 비목표자극에서 표준자극보다 큰 진폭의 P300이 나타난다.

본 연구에서 사용한 세자극 오드볼 과제에서 목표자극(제시비율=.17)은 직경이 4cm인 파란색 원이었으며, 표준자극(제시비율=.67)은 직경이 3.5cm인 파란색 원이었다. 비목표자극(제시비율=.17)은 한 변의 길이가 4cm인 파란색 정사각형이었다. 표준자극과 목표자극의 크기는 선행 연구를 참고하여 변별난이도가 '보

통' 수준에 해당하도록 구성하였다(Hagen, Hatherwright, Lopez, & Polich, 2006). 실험참여자에게 목표자극과 비목표자극, 표준자극을 무선적인 순서로 하나씩 제시하였다. 자극은 실험참여자로부터 1m 앞에 놓여있는 모니터에 검은색을 배경으로 제시하였으며, 자극은 100ms 동안만 제시하였고, 자극간 제시간격은 평균 2sec(최소 1.8sec, 최대 2.2sec)였다. 목표자극을 50회, 비목표자극을 50회, 표준자극을 200회 제시하여 총 300회 자극을 제시하였다. 실험참여자에게는 목표자극이 나타나면 마우스 왼쪽 버튼을 누르도록 하였고, 비목표자극과 표준자극에는 마우스 오른쪽 버튼을 누르도록 지시하도록 하였다.

2.3. 뇌파기록

뇌파를 측정하기 위하여 Ag/AgCl 전극을 국제 10-20 체계에 따라 Fz와 Cz, Pz에 부착하였으며, 양쪽 귓볼에 연결된 전극을 부착하여 기준전극으로 사용하였으며, 이마에 접지전극을 부착하였다. 안구운동과 눈 깜박임을 기록하기 위하여 왼쪽 눈 위와 아래에 전극을 부착하여 안전도(electrooculogram: EOG)를 측정하였다. Fz와 Pz의 신호를 Grass Model 12 증폭기(Grass Instruments, Quincy, MA, USA)를 사용하여, 세 가지 종류의 고역통과필터(0.01Hz, 0.3Hz, 1.0Hz)로 여과시켰으며, Cz의 신호는 0.01Hz HPF만 사용하였다. Fz와 Cz, Pz의 신호는 모두 30Hz LPF를 사용하여 고주파 성분을 여과시켰다. 실험자극의 제시와 행동반응의 기록은 SuperLab 4.0(Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA)을 이용하였다. 실험이 끝난 후, 뇌파를 자극제시 전 100ms를 포함하여 총 1100ms로 구간을 나누어 분석에 사용하였으며, EOG가 $\pm 75\mu V$ 를 넘는 시행은 분석에서 제외하였다. 목표자극과 비목표자극, 표준자극이 제시된 시점을 기준으로 각 시행의 뇌파들을 평균하여 ERP를 산출하였다.

2.4. 자료분석

각 자극 유형에 대한 P300 진폭은 기저선-정점 방법과 정점-정점 방법을 사용하여 측정하였으며, P300 이후의 부적 정점도 함께 측정하였다. 기저선-정점 방법은 P300의 전위값에서 자극 제시전의 기저선 전위를 뺀 값으로 P300의 진폭을 정의하며, 정점-정점 방법은 P300의 전위와 P300 이후에 나타나는 부적 정점

전위값 간의 차이를 P300의 진폭으로 정의한다. 기저선의 전위값은 자극제시전 100ms 구간의 평균 전위값을 사용하였으며, P300의 전위는 자극 제시 후 300ms에서 700ms 사이에 100ms 구간의 평균값이 가장 큰 값을 사용하였으며, P300 이후 부적 정점의 전위는 P300이 나타난 이후에 100ms 구간의 평균값이 가장 작은 값을 사용하였다. 반응시간은 자극이 제시된 후부터 반응버튼이 눌러지기까지의 시간으로 정의하였다.

세 가지 HPF에 따라서 P300 측정치가 달라지는지, 그리고 비목표자극과 표준자극의 P300 측정치가 다른지 검증하기 위하여 반복측정 변량분석(repeated measure ANOVA)을 수행하였으며, 분자의 자유도가 1보다 큰 경우에는 Greenhouse-Geiser의 합동대칭성 지수 ϵ 을 이용하여 교정한 확률을 사용하였다. 개인별로 비목표자극과 표준자극 간의 P300 측정치가 서로 다른 정도에 대한 통계적 유의확률을 계산하기 위하여 부트스트랩 절차를 이용하였으며(엄진섭, 한유화, 박광배, 손진훈, 2008 참고), 기저선-정점 P300 측정치와 정점-정점 P300 측정치 각각에 대해서 수행하였다. P300 이후의 부적 정점만으로 비목표자극과 표준자극이 구별되는지 파악하기 위하여 P300 이후의 부적 정점 측정치에 대한 차이검증도 함께 수행하였다.

3. 결과

3.1. 행동반응과 ERP

목표자극에 대한 평균 정반응시간은 575ms(SD=91ms), 비목표자극에 대한 평균 정반응시간은 508ms(SD=113ms), 표준자극에 대한 평균 정반응시간은 446ms(SD=64ms)였으며, 목표자극에 대한 평균 정반응율은 74%였다.

실험참여자로부터 산출된 평균 ERP가 <그림 1>에 제시되어 있다. 전체적으로 목표자극과 비목표자극에 대한 P300 진폭이 표준자극에 대한 P300 진폭보다 커 보이며, Pz의 P300 진폭이 Fz의 P300 진폭보다 커 보인다. HPF의 값이 증가함에 따라 P300 진폭이 감소하는 것으로 보이며, 0.01Hz HPF를 사용한 경우에는 P300 이후의 부적 정점이 관찰되지 않았지만, 0.3Hz와 1.0Hz HPF를 사용했을 때에는 P300 이후의 부적 정점이 뚜렷하게 나타났다.

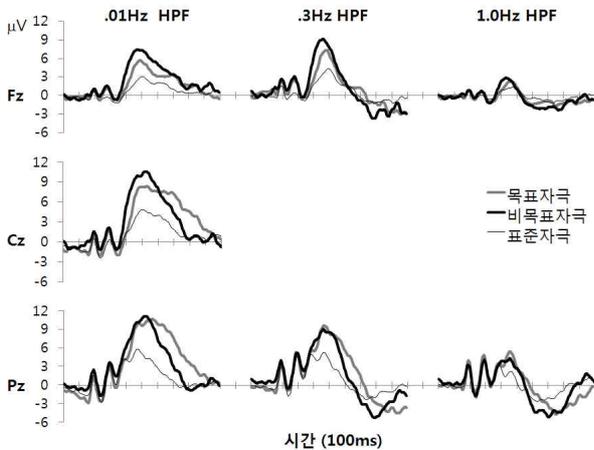


그림 1. 세 자극 오드볼 과제의 ERP

3.2. 기저선-정점 P300 진폭

HPF 별로 기저선-정점 P300 진폭에 차이가 있는지 검증하기 위하여, 전극위치(Fz, Pz)와 자극유형(목표 자극, 비목표 자극, 표준 자극), HPF(0.01Hz, 0.3Hz, 1.0Hz)를 독립변인으로 한 삼원반복측정변량분석을 실시하였다. 전극위치의 주효과가 유의하였는데($F(1,7)=34.334$, $p<.01$, $\Delta\eta^2=.777$), Pz의 기저선-정점 P300 진폭이 Fz의 값보다 크게 나타났다. 자극유형의 주효과도 유의하였는데($F(2,14)=11.338$, $p<.001$, $\Delta\eta^2=.618$), Bonferroni 교정을 적용한 다중비교결과 목표 자극과 비목표 자극의 기저선-정점 P300 진폭이 표준 자극의 값보다 큰 것으로 나타났다. HPF의 주효과도 유의하였는데($F(2,14)=18.039$, $p<.001$, $\Delta\eta^2=.720$), 0.01Hz와 0.3Hz의 HPF를 사용할 때가 1.0Hz의 HPF를 사용할 때보다 기저선-정점 P300 진폭이 큰 것으로 나타났다.

전극위치와 자극유형의 이원상호작용효과가 유의하였는데($F(2,14)=11.037$, $p<.01$, $\Delta\eta^2=.612$), Fz에서는 비목표 자극에 대한 P300 진폭이 목표 자극에 대한 것보다 큰 경향이 있었던 반면, Pz에서는 비목표 자극과 목표 자극에 대한 P300 진폭이 유사하였다. HPF와 전극위치의 상호작용효과가 유의하였는데($F(2,14)=9.575$, $p<.01$, $\Delta\eta^2=.578$), .01Hz HPF를 사용하였을 경우에는 Fz와 Pz 간의 P300 진폭이 차이를 보인 반면, 0.3Hz와 1.0Hz HPF를 사용한 경우에는 Fz와 Pz 간의 P300 진폭이 큰 차이를 보이지 않았다. HPF와 자극유형간 상호작용효과가 유의하였는데($F(4,28)=8.257$, $p<.01$, $\Delta\eta^2=.541$), 0.01Hz와 0.3Hz HPF를 사용한 경우에는 목표 자극과 비목표 자극의 P300 진폭이 표준 자극의 P300

진폭보다 큰 경향이 뚜렷한 반면, 1.0Hz HPF를 사용한 경우에는 P300 진폭 차이가 크지 않았다.

전극위치와 자극유형, HPF의 삼원상호작용효과도 유의하였는데($F(4,28)=5.148$, $p<.01$, $\Delta\eta^2=.425$), Fz에서는 자극유형간 기저선-정점 P300 진폭 차이가 0.01Hz HPF와 0.3Hz HPF에서 비슷하였지만, Pz에서는 자극유형간 기저선-정점 P300 진폭 차이가 0.01Hz HPF일 때가 0.3Hz HPF일 때보다 큰 경향이 있었다(그림 2).

HPF에 따른 P300 진폭의 변화에 개인차가 있는지 확인하기 위하여, 0.01Hz와 0.3Hz, 1.0Hz HPF에서의 P300 진폭간 상관계수를 산출하였다. 0.01Hz HPF와 0.3Hz HPF에서의 P300 진폭간 상관은 .91($p<.001$), 0.3Hz HPF와 1.0Hz HPF에서의 P300 진폭간 상관은 .90($p<.001$), .01Hz HPF와 1.0Hz HPF에서의 P300 진폭간 상관은 .76($p<.001$)으로 HPF에 따른 P300 진폭의 변화에서 개인차는 크지 않은 것으로 나타났다.

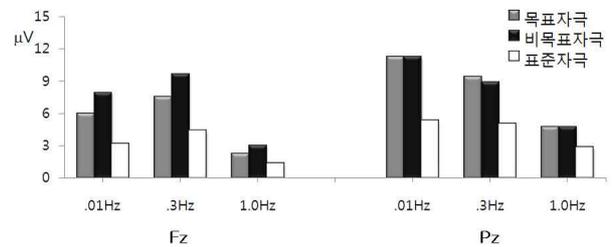


그림 2. 기저선-정점 P300 진폭

3.3. 정점-정점 P300 진폭

HPF별로 정점-정점 P300 진폭에 차이가 있는지 검증하기 위하여, 전극위치(Fz, Pz)와 자극유형(목표 자극, 비목표 자극, 표준 자극), HPF(0.01Hz, 0.3Hz, 1.0Hz)를 독립변인으로 한 삼원반복측정변량분석을 실시하였다. .01Hz HPF 조건에서는 P300 이후의 부정적 정점이 관찰되지 않는 경우가 많았기 때문에, 정점-정점 P300 진폭을 대신하여 기저선-정점 진폭을 사용하였다. 전극위치의 주효과가 유의하였는데($F(1,7)=36.256$, $p<.001$, $\Delta\eta^2=.838$), Pz의 정점-정점 P300 진폭이 Fz의 값보다 컸다. 자극유형의 주효과도 유의하였는데($F(2,14)=12.595$, $p<.001$, $\Delta\eta^2=.643$), 다중비교결과 목표 자극과 비목표 자극의 정점-정점 P300 진폭이 표준 자극의 값보다 큰 것으로 나타났다. HPF의 주효과도 유의하였다($F(2,14)=23.030$, $p<.001$, $\Delta\eta^2=.767$). 0.3Hz의 HPF를 사용할 때가 0.01Hz나 1.0Hz의 HPF를 사용

할 때보다 정점-정점 P300 진폭이 큰 것으로 나타났다.

전극위치와 자극유형의 이원상호작용효과가 유의하였는데(F(2,14)=6.238, $p < .05$, $\Delta\eta^2 = .471$), Fz에서는 비목표자극에 대한 P300 진폭이 목표자극에 대한 것보다 큰 경향이 있었던 반면, Pz에서는 비목표자극과 목표자극에 대한 P300 진폭이 유사하였다. HPF와 전극위치의 상호작용효과가 유의하였는데(F(2,14)=8.443, $p < .01$, $\Delta\eta^2 = .547$), 0.01Hz와 1.0Hz HPF를 사용하였을 경우에는 Fz와 Pz 간의 P300 진폭이 차이를 보인 반면, .3Hz HPF를 사용한 경우에는 Fz와 Pz 간의 P300 진폭이 큰 차이를 보이지 않았다. HPF와 자극유형간 상호작용효과는 유의하였는데(F(4,28)=6.272, $p < .05$, $\Delta\eta^2 = .473$), 비목표자극과 표준자극 간 P300 진폭 차이가 0.01Hz와 1.0Hz HPF를 사용한 경우보다 0.3Hz HPF를 사용한 경우에 더 큰 경향이 있었다.

전극위치와 자극유형, HPF의 삼원상호작용효과도 통계적으로 유의하였는데(F(4,28)=7.303, $p < .01$, $\Delta\eta^2 = .511$), Fz에서는 0.3Hz HPF를 사용한 경우에 자극유형간 P300 크기 차이가 다른 HPF를 사용한 경우보다 더 큰 경향이 있었던 반면, Pz에서는 0.01Hz와 0.3Hz HPF를 사용한 경우가 1.0Hz의 HPF를 사용한 경우보다 자극유형간 P300 크기 차이가 더 큰 경향이 있었다(그림 3).

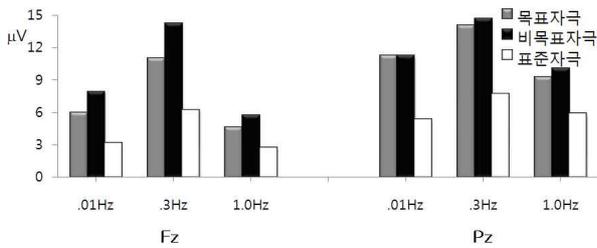


그림 3. 정점-정점 P300 진폭

3.4. P300 이후의 부적 정점

HPF 별로 P300 이후의 부적 정점 전위값에 차이가 있는지 검증하기 위하여, 전극위치(Fz, Pz)와 자극유형(목표자극, 비목표자극, 표준자극), HPF(0.3Hz, 1.0Hz)를 독립변인으로 한 삼원반복측정변량분석을 실시하였다. 0.01Hz HPF를 사용했을 때에는 부적 정점이 관찰되지 않는 경우가 많았기 때문에 분석에서 제외하였다. 전극위치의 주효과가 유의하였는데(F(1,7)=18.154, $p < .01$, $\Delta\eta^2 = .722$), Pz의 P300 이후 부적 정점이 Fz의

부적 정점보다 더 컸다. 자극유형의 주효과도 유의하였는데(F(2,14)=9.496, $p < .01$, $\Delta\eta^2 = .576$), 다중비교결과 비목표자극의 P300 이후 부적 정점이 표준자극의 값보다 더 큰 것으로 나타났다. HPF의 주효과는 유의하지 않았다(F(1,7)=.892, $p > .3$, $\Delta\eta^2 = .113$). 전극위치와 자극유형의 이원상호작용효과(F(2,14)=.801, $p > .5$, $\Delta\eta^2 = .103$), HPF와 전극위치의 상호작용효과(F(1,7)=3.923, $p > .05$, $\Delta\eta^2 = .359$), HPF와 자극유형의 상호작용효과(F(2, 14)=1.250, $p > .3$, $\Delta\eta^2 = .151$), 전극위치와 자극유형, HPF의 삼원상호작용효과(F(2,14)=.517, $p > .5$, $\Delta\eta^2 = .069$)는 모두 유의하지 않았다(그림 4).

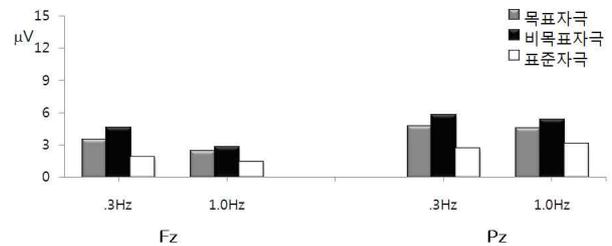


그림 4. P300 이후의 부적 정점

3.5. 자극유형 간의 P300 진폭 차이에 대한 개인별 검증

P300 측정치를 이용하는 대부분의 연구들은 집단수준에서 목표자극이나 비목표자극의 P300 진폭이 실험조건에 따라 차이가 있는지 관심을 가진다. 그러나 P300 CIT에 관한 연구들은 Pz의 자료에 대하여 개인수준에서 비목표자극의 P300 진폭이 표준자극의 P300 진폭보다 더 크기에 관심을 가진다. P300 CIT에서는 일반적으로 실험참여자 개인별로 부트스트랩 절차를 이용한 차이검증을 수행한다(Rosenfeld, Soskins, Bosh, & Ryan, 2004). <표 2>에 비목표자극의 P300 측정치가 표준자극의 P300 측정치보다 유의하게 더 큰 지에 대한 개인별 검증결과가 제시되어 있다. 기저선-정점 P300 진폭을 이용하여 개인별 검증을 수행한 결과, 높은 HPF를 사용할수록 비목표자극의 P300 진폭이 표준자극의 진폭보다 크다는 결과가 적게 산출되는 경향이 있었다. 정점-정점 P300 진폭을 이용한 경우에는 기저선-정점 P300 진폭을 이용한 경우보다 유의한 결과가 더 많이 산출되는 경향이 있었으며, 0.3Hz와 1.0Hz HPF를 사용하였을 때에는 P300 이후의 부적 정점만을 이용한 경우에도 6명(75%)의 실험참여자에게

서 유의한 결과가 산출되었다.

표 2. 비목표자극과 표준자극 간의 P300 측정치 차이에 대한 개인별 검증 결과(단위: 명)

HPF	Pz의 P300 측정치		
	BP P300 ¹⁾	PP P300 ²⁾	NegP ³⁾
0.01Hz	6 ⁴⁾	-	-
0.3Hz	5	8	6
1.0Hz	4	6	6

- 1) 기저선-정점 P300 측정치를 이용한 결과
- 2) 정점-정점 P300 측정치를 이용한 결과
- 3) P300 이후 부적 정점만을 이용한 결과
- 4) 표 안의 값은 부트스트랩 절차를 이용하여 90% 신뢰수준에서 비목표자극의 측정치가 목표자극의 측정치보다 큰 것으로 판단된 실험참여자 수임.

4. 논의

본 연구에서는 뇌파 측정에 사용하는 아날로그 HPF가 P300의 파형에 미치는 영향을 관찰하였다. 실험참여자들 세자극 오드볼 과제를 수행하는 동안에 두피에서 측정된 신호를 0.01Hz와 0.3Hz, 1.0Hz의 HPF를 사용하여 뇌파를 기록하였다. 각각의 HPF를 사용한 뇌파에 대해서 ERP를 산출한 결과, 0.01Hz HPF와 0.3Hz HPF에 비교하여 1.0Hz HPF를 사용한 경우에 P300의 진폭이 크게 감소하였다. 0.01Hz HPF를 사용한 경우에는 P300 이후의 부적 정점이 나타나지 않았지만, 0.3Hz와 1.0Hz의 HPF를 사용했을 때에는 P300 이후의 부적 정점이 관찰되었다. 0.01Hz와 0.3Hz HPF를 사용한 경우에는 비목표자극과 표준자극 간의 기저선-정점 P300 진폭 차이가 나타났으며, 0.3Hz와 1.0Hz HPF를 사용한 경우에는 비목표자극과 표준자극 간의 P300 이후의 부적 정점의 차이가 나타났다.

1.0Hz의 HPF를 사용했을 때 기저선-정점 P300의 진폭이 감소하는 것은 Duncan-Johnson과 Donchin (1979)의 결과와 일치하며, Rangaswamy 등(2007)이 P300의 주파수 성분이 sub-delta(0~1Hz)와 delta(1~4Hz) 영역 내에 있으므로, 1.0Hz나 2.0Hz의 HPF를 사용하면 P300의 진폭이 크게 감소한다고 한 것과 일치한다. 이러한 결과는 0.3Hz를 넘지 않는 HPF를 사용하는 것이 좋다는 선행연구들(Luck, 2005; Picton 등, 2000)의 권고를 지지해주는 것이었다.

0.3Hz HPF를 사용하는 경우에 P300 이후 부적 정점이 나타나는 것은 Soskins 등(2001)의 결과와 일치하

는 것이다. Soskins 등(2001)은 0.3Hz HPF를 사용할 때 나타나는 P300 이후의 부적 정점이 부분적으로는 P300에서 기저선으로 회복하는 것과 관련된 용량결합에 의한 인공물이라고 하였다. 그러나 인지과정을 수행할 때 나타나는 P300 이후의 부적 정점은 P300 이후 기저선으로의 회복시간과 높은 상관을 가지고 있고, P300 회복시간은 P300 진폭에 포함되지 않은 어떠한 인지과정을 반영하므로, 결과적으로 P300 이후 부적정점은 P300 진폭과는 다른 어떠한 인지과정을 반영하는 것이라고 하였다.

0.3Hz HPF를 사용할 때 관찰된 P300 이후의 부적 정점이 1.0Hz HPF를 사용한 경우에도 유사한 정도로 나타났다. 이러한 결과는 Soskins 등(2001)이 0.3Hz HPF를 사용하였을 때 관찰한 P300 이후의 부적 정점이 인지과정을 반영한다고 한 것처럼, 1.0Hz HPF를 사용하였을 때 관찰되는 P300 이후의 부적 정점도 인지과정을 반영한다고 할 수 있을 것이다.

세자극 오드볼 과제에서 비목표자극의 P300 진폭이 표준자극의 P300 진폭보다 더 큰지에 대한 개인별 판단결과, 0.3Hz HPF와 정점-정점 P300 측정치를 사용하는 것이 0.01Hz HPF와 기저선-정점 P300 측정치를 사용하는 것보다 더 효율적인 경향이 있었다. 이러한 결과는 Soskins 등(2001)이 P300 CIT를 사용하여 산출한 결과와 일치하는 것이다. 0.3Hz HPF와 정점-정점 P300 측정치를 사용하는 경우에는, P300의 진폭은 크게 감소하지 않는 반면, 인지과정을 반영하는 P300 이후의 부적 정점의 값이 추가되므로, 자극 유형간 변별이 더 용이한 것으로 보인다.

1.0Hz의 HPF를 사용한 경우에도 정점-정점 P300 측정치를 사용하는 것이 기저선-정점 P300 측정치를 사용하는 것보다 유용한 경향이 있었다. 그러나 1.0Hz HPF는 P300 진폭을 크게 감소시키기 때문에, 1.0Hz HPF와 정점-정점 P300 측정치를 사용하는 것이 0.3Hz HPF와 정점-정점 P300 측정치를 사용하는 것보다는 덜 효율적인 경향이 있었다.

0.3Hz와 1.0Hz 사이의 HPF가 P300의 진폭에 미치는 영향을 직접적으로 살펴보는 못했지만, P300 CIT에서 0.7Hz HPF를 사용하여 ERP를 산출한 Han, Eom과 Park(2009)의 연구를 통해서 간접적으로 추론할 수 있다. Han 등(2009)의 결과에서, 기저선-정점 P300 측정치의 평균값(약 $5\mu V$)이 비교적 낮은 수준이었고, P300 이후 부적 정점이 뚜렷하게 나타났으며, 정점-정점 P300 측정치가 기저선-정점 P300 측정치보

다 기억탐지에 더 효율적인 것으로 보아, 0.7Hz HPF는 0.3Hz HPF에 비하여 P300 진폭을 더 많이 감소시키며, 부적 정점의 기능은 0.3Hz HPF와 1.0Hz HPF와 유사할 것으로 추론된다.

본 연구에서는 1.0Hz의 HPF가 P300의 진폭이 크게 감소한다는 것을 다시 확인하였으며, P300 이후 부적 정점을 유발한다는 것을 발견하였다. 나아가, P300 CIT나 자극 유형들 간의 P300 측정치 차이를 검증하는 것이 목적인 연구에서 0.3Hz 이상의 HPF를 사용할 때에는 P300 측정치로 정점-정점 P300 측정치를 사용하는 것이 유용하다는 것을 발견하였다.

본 연구의 결과가 비교적 적은 수의 실험참여자로부터 관찰된 것이므로 연구결과의 안정성에 문제가 있을 수 있다. 그러나 본 연구가 개인 간의 차이를 밝히는 것이 아니라 물리적 HPF가 P300의 진폭에 미치는 영향을 검증하는 것이며, HPF에 따른 P300 진폭의 변화에서 개인 간의 변산성이 크지 않으므로, 연구결과의 안정성에 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 엄진섭, 한유화, 박광배, 손진훈 (2008). P300 숨긴 정보 검사의 민감도: 목표자극을 이용하는 측정 패러다임과 두 자극에 대한 범주판단 및 재인검사를 이용하는 측정 패러다임의 비교. *한국심리학회지: 일반*, 27(3), 653-673.
- Duncan-Johnson, C. C. & Donchin, E. (1979). The time constant in P300 recording. *Psychophysiology*, 16, 53-55.
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Hagen, G. F., Hatherwright, J. R., Lopez, B. A., & Polich, J. (2006). P3a from visual stimuli: Task difficulty effects. *International Journal of Psychophysiology*, 59, 8-14.
- Han, Y. H., Eom, J. S., & Park, K. B. (2009). The effect of task difficulty in P300-based memory detection. *International Conference on Asia Pacific Psychology (ICAPP2009) Abstract*, 175-176.
- Johnson, R. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, 23, 367-384.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557-577.
- Picton, T. W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S. A., Johnson, R., Miller, G. A., Ritter, W., Ruchkin, D. S., Rugg, M. D., & Taylor, M. J. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37, 127-152.
- Rangaswamy, M., Jones, K. A., Porjesz, B., Chorlian, D. B., Padmanabhapillai, A., Kamarajan, C., Kuperman, S., Rohrbaugh, J., O'Connor, S. J., Bauer, L. O., Schuckit, M. A., & Begleiter, H. (2007). Delta and theta oscillations as risk markers in adolescent offspring of alcoholics. *International Journal of Psychophysiology*, 63, 3-15.
- Rosenfeld, J. P., Soskins, M., Bosh, G., & Ryan, A. (2004). Simple, effective countermeasures to P300-based tests of detection of concealed information. *Psychophysiology*, 41, 205-219.
- Soskins, M., Rosenfeld, J. P., & Niendam, T. (2001). The case for peak-to-peak measurement of P300 recorded at .3 Hz high pass filter settings in detection of deception. *International Journal of Psychophysiology*, 40, 173-180.

원고접수 : 10.02.04

수정접수 : 10.03.04

게재확정 : 10.03.09