

주파수 통과대역필터가 작업 기억 관련 사건관련전위 P300에 미치는 영향

박웅식¹ · 이정우^{2*}

¹광주여자대학교 작업치료학과 교수, ^{2*}광주여자대학교 물리치료학과 교수

Effects of the Frequency Band Pass Filter on the P300 Event-related Potential in the Working Memory

Park Woongsik, PT, Ph.D¹ · Lee Jeongwoo, PT, Ph.D^{2*}

¹*Dept. of Occupational Therapy, Kwangju Women's University, Professor*

^{2*}*Dept. of Physical Therapy, Kwangju Women's University, Professor*

Abstract

Purpose : The purpose of this study was to investigate the effects of the frequency band pass filter on the P300 event-related potential in the working memory.

Methods : The subjects were 20 women in their 20s who applied for participation in the experiment. Event-related potentials (ERPs) were elicited using 3-back tasks for the working memory, and were recorded from Fz, Cz, and Pz scalp electrodes. The high-pass filters were set to 0.01, 0.1, and 0.3 Hz for analysis purposes, and the low-pass filters were set to 30 and 15 Hz. The 3-back task was presented for a total of 100 times, among which 30 times were designated for the target stimulation (a matched number) and 70 times for the non-target stimulation (an unmatched number). The temporal interval between each stimulation was set at 1 second, while each time duration was randomly presented between 2 to 4 seconds. ERP were analyzed for the P300 recorded from Fz, Pz and Cz scalp electrodes.

Results : Latency and amplitude had no significant interaction effects in both the high- and low-pass filters. For the main effects, the latency and amplitude of the P300 event-related potential had no significant difference in the high-pass filters, but the latency had a significant difference in the low-pass filter of Fz, and the amplitude had a significant difference in the low-pass filter of Pz.

Conclusion : The results of this study showed that the less than 0.3 Hz high filters had no effects on the differences between the latency and amplitude of the P300 event-related potential in the working memory. The 30Hz low-pass filter, however, was found to be useful for recording the P300 event-related potential in the working memory.

Key Words : band pass filter, event related potential, n-back task, P300, working memory

*교신저자: 이정우, jwlee@kwu.ac.kr

논문접수일 : 2020년 3월 30일 | 수정일 : 2020년 4월 14일 | 게재승인일 : 2020년 5월 15일

※ 이 논문은 2019학년도 3학기 광주여자대학교 교내 연구년 지원에 의하여 연구되었음.

I. 서론

사건관련전위(event related potential)는 뇌파에서 자발적으로 발생하는 전기적 활동과는 달리 사건 제시 등과 관련되어진 뇌의 일정시간 동안의 전기적 활동이다(Kim, 1995). 사건 제시방법은 물리적 및 인지적 자극에 의한 뇌의 인지적 처리가 요구되는 상황에서 자극이 제시되는 것으로 이에 대한 특정한 시간대에 발생하는 뇌파의 반응이 사건관련전위이며, 대뇌의 인지정보 처리과정을 반영한다(Kang 등, 2017). 사건관련전위는 여러 가지의 음(negative) 및 양(positive)의 정점(peak)들로 이루어져 있으며, 잠재시간(latency)과 극성(polarity)에 따라 이름이 정해지는데(Kim, 1995), 자극 시점에서 뇌파의 발생시간에 따라 이름을 붙여서 N100, P200, N200, P300, N400 등으로 표시한다(Kang 등, 2017). 이 중에서 P300은 자극을 제시한 후 약 300 ms 주변에서 잠재기(latency)에서 얻게 되는 양전위(positive potential) 값이며(Kim 등, 2017), 외부에서 들어오는 자극을 구별하는 지각적 결정(perceptual decision)과 관련이 있다(Kwon, 2000). P300은 주의력(attention)과 인지자원 재할당(cognitive resource reallocation) 및 기억 업데이트(memory updating)와 관련이 있는 중요한 사건관련전위 요소로 생각된다(Xiao 등, 2019).

임상적으로 P300은 치매, 조현병, 정동장애, 알코올의존증, 주의력장애, 뇌손상 환자들을 대상으로 하는 임상분야에서 질병의 특성 및 손상 후 회복에 대한 예측 등의 연구에서 활용되고 있다(Kang 등, 2017). P300을 유도하기 위해서 다양한 패러다임(paradigm)들이 사용되어져 왔는데, 오드볼 과제(oddball paradigm)는 서로 다른 자극들이 비교적 드물게 발생되면서 연속적으로 나타나도록 하는 연구에서 가장 많이 이용되고 있다(Kim & Woo, 2016; Sur & Sinha, 2009; Wijnen 등, 2014). 작업 기억(working memory)의 개념은 Baddeley(1986)가 설명하였으며, 작업 기억 과제들 종류 중 n-back 과제는 사건관련전위 연구뿐만 아니라 신경영상연구(neuroimaging study)에서도 자주 사용된다(Kim, 2007). 신경영상 연구자들은 문자 n-back 과제가 언어 정보의 단기 유지와 조작이 포함된 과정에만 관여하는 것으로 추정하고 있다(Meegan

등, 2004).

뇌파(electroencephalography; EEG)는 뇌 신경세포의 활동에서 발생한 것이 아닌 잡음(noise)을 제거하기 위해서 두 가지 종류의 아날로그 필터를 사용하는데, 저주파 성분을 제거하기 위한 고역통과필터(high pass filter; HPF)와 고주파 성분을 제거하기 위한 저역통과필터(low pass filter; LPF)가 있다(Eom 등, 2010). 사건관련전위는 신호가 뇌파보다 작기 때문에 잡음(noise)으로부터 신호(signal)를 분리하는 과정이 필요하며, 이러한 잡음을 제거하기 위해 평균화(averaging)가 가장 흔하게 사용된다(Kwon, 2000). 따라서 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)가 매우 낮기 때문에 P300의 진폭(amplitude)을 증가시키고 뇌파 배경 활동(EEG back ground activity)을 줄이기 위한 평균화 반응(averaging response)을 실시할 때조차도 P300의 발견(detection)을 향상시키기 위한 전처리 과정기법(preprocessing technique)을 실시하는 것은 필요하다(Bougrain 등, 2012).

잡음 등을 감소시키기 위한 전처리 과정은 피부의 임피던스를 낮추기 위한 방법 등 여러 가지가 있으나 획득된 신호에 대한 전처리 과정으로는 아날로그나 디지털에 의한 주파수 필터방법이 사용되고 있다. 피부와 땀에서 발생하는 잡음을 줄이기 위해서는 0.1~1 Hz 사이의 고역통과필터가 사용된다(Kang 등, 2017). 그러나 고역통과필터는 느린 사건관련전위의 진폭을 감소시킬 수 있기 때문에(Tanner 등, 2015) 잡음 등을 줄이면서도 사건관련전위의 파형을 왜곡시키지 않기 위한 최적의 주파수 필터방법에 대한 연구들의 필요성이 제기되고 있다.

0.5 Hz 이상인 고역통과 차단(high pass cutoffs)의 아날로그 필터들은 P300 파형을 유의하게 왜곡(distort)시키기 때문에 최적의 P300은 0.1 Hz 또는 그보다 낮은 고역통과필터 아날로그에서 기록된다(Picton, 1992). Eom 등(2010)은 고역통과필터 값이 색깔관련 시각자극 P300의 진폭에 미치는 영향을 연구한 결과 0.01 Hz, 0.3 Hz, 1.0 Hz의 고역통과필터 중 1.0 Hz에서만 P300의 진폭을 크게 감소시키는 것으로 보고하였다. Kim 등(2017)은 인지기능 연구를 위한 주요 사건관련전위 파형이 0.1~30 Hz 사이에서 나타나 일반적으로 0.1~30 Hz의 주파수 통과대역 통과필터를 사용한다고 하였으나 Bougrain 등(2012)은

글자 정확도(letter accuracy)에 대한 P300의 최적 필터를 연구한 결과 0.1~15 Hz의 주파수 통과대역필터가 가장 좋은 고역통과필터와 저역통과필터의 조합인 것으로 보고였다. 따라서 사건관련 전위 연구들에서의 저역통과필터는 최소 0.01 Hz에서 최대 1.0 Hz에서 사용되며, 이 중에서 파형을 유의미하게 왜곡시키지 않는 것으로 알려진(Picton, 1992) 0.5 Hz 미만인 고역통과필터들 사이에 설정된 연구들 사이에서도 최적의 저역통과필터는 연구마다 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 아직까지는 사건관련전위와 관련한 주파수 통과대역필터에 따른 P300의 잠재기 및 진폭의 차이에 대한 연구들은 부족한 실정이며, 특히 작업 기억(working memory) 관련 사건관련전위에 대한 주파수 통과대역필터의 최적 주파수 필터에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 이 연구의 목적은 주파수 통과대역필터가 작업 기억 관련 P300 사건관련전위에 미치는 영향을 알아보는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 실험에 자원한 20대 정상성인 여성 20명을 대상으로 실시하였다. 실험 전 대상자들에게 실험에 대해 충분히 설명을 하고 실험 참여 동의서를 받은 후에 실험을 실시하였다. 실험 대상자는 정신질환이 없는 자와 각종 질환 치료를 위한 약물을 복용하고 있지 않는 자로 한정을 하였다. 대상자의 일반적 특성과 과 같다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects (n=20)

	Mean±SD
Age (year)	21.6±0.5
Height (cm)	163.0±4.2
Weight (kg)	57.5±9.6

2. 작업 기억 관련 자극제시 방법

작업 기억(working memory) 관련 사건관련전위를 측정하기 위해 n-back 과제를 실시하였다. n-back 과제는 차례대로 제시되는 자극들 중에서 현재 시행에서 제시된 자극이 n번째 이전 시행에서 나타나는 자극과 일치하는지에 대해 반응하도록 요구하는 인지과제이다(Kim, 2007). 본 연구에서 n-back 과제는 3-back으로 하여 0~4 사이의 숫자를 사용하였으며, 총 과제수행 시간은 5분 5초, 자극제시 시간은 5분이었다. 대상자들은 모니터와 눈 사이 거리가 60 cm 인 위치에 편안하게 의자에 앉아 있는 자세에서 모니터를 통해 무작위 순서대로 제시되는 0~4 사이의 숫자 가운데 3번째 시행 이전의 숫자와 현재 제시되는 숫자가 일치하는지 여부를 판단하고, 일치하는 경우에만 비 우세측 손으로 키보드의 오른쪽 방향키를 누르도록 하였다. 이때 제시된 시각 자극 숫자는 총 100개로 구성되었으며, 이 중 30개의 숫자가 3번째 시행에서 서로 일치하는 목표자극(target stimuli) 이었고 나머지 70개의 숫자는 반응이 요구되지 않는 표준자극으로 구성하였다. 이때 목표자극의 위치는 숫자의 순서가 서로 중복되지 않도록 하였으며, 어떤 숫자가 어떤 위치에서 일치하는지 알 수 없도록 구성하였다. 실험 시 자극이 제시되는 시간 간격은 1초로 하였으며, 각 시간 사이의 간격은 2~4초 사이에 무작위로 제시하였다. 3-back 과제는 stimulus random-scheduling 프로그램(LAXTHA, 대한민국)을 사용하여 제공하였으며, 이때 제시된 숫자의 색깔은 검정색이었고 바탕색은 흰색이었으며, 숫자의 크기는 가로 1 cm, 세로 2 cm로 하였다.

3. 뇌파 측정 및 P300 분석방법

뇌파는 QEEG 8(LAXTHA, 대한민국)로 측정하였으며, Neuro-MEP4(Neurosoft, 러시아)로 피부 임피던스가 5 kΩ 이하가 나오도록 알코올 솜으로 충분히 닦은 후 전극을 부착하였다. 전극 부착 부위는 국제 10~20 배치법에 따라 사건관련전위에서 가장 중요한 전극인 Fz, Cz, Pz 영역(Kang 등, 2017)에 Ag/AgCl 전극(LAXTHA, 대한민국)을 부착하였으며, 접지전극(ground electrode)은 왼쪽 귀 뒤의 꼭지돌기(mastoid process)에, 참조전극(reference electrode)은 오른쪽 귀 뒤의 꼭지돌기에 각각 1회용 원형

접착식 전극(2223H, Hurev, 대한민국)을 부착하였다. 뇌파는 표본추출률(sampling rate)은 250 Hz, 증폭도(gain)는 625 μV 로 설정하였다. 뇌파 측정은 오후 12시에서 오후 16시 사이에 진행하였으며, 실험실 온도는 25~26 $^{\circ}C$, 습도는 65~70 %로 유지하였다. 대상자가 실험 중에 가능한 눈 깜빡임, 얼굴과 턱 움직임 및 신체 움직임 등을 하지 않도록 주의사항을 설명한 후 대상자가 편안하게 앉은 자세로 10분 이상 충분한 휴식을 취한 후에 실험을 실시하였다.

P300 사건관련전위는 TeleScan(LATHA, 대한민국) 프로그램을 사용하여 분석하였다. 수집된 뇌파는 눈 움직임 등의 잡음(noise)을 제거하기 위해서 진폭차이(amplitude difference)가 100 μV 를 넘는 뇌파는 제거하였으며, 목표자극 후 제시된 0~1초 사이의 뇌파들을 평균화(averaging)한 후 목표자극이 제시된 후 200 ms~500 ms 사이에서 가장 큰 양(positive)의 기저선-정점진폭(baseline-to-peak amplitude)을 P300으로 결정하였다. 이때, 주파수 통과대역필터(band pass frequency filter)의 고역통과필터(high pass filter)는 0.01 Hz, 0.1 Hz, 0.3 Hz로

설정하고 저역통과필터(low pass filter)는 30 Hz, 15 Hz로 설정한 후 Fz, Cz, Pz 영역의 P300 잠재기와 진폭 값을 각각 분석하였다.

4. 자료 분석

자료의 통계분석은 SPSS/window (version 19.0)을 이용하여 분석하였다. 주파수 통과대역필터의 고역통과필터와 저역통과필터에 따른 P300 잠재기 및 진폭의 차이에 대한 분석은 이요인 반복측정분산분석(two-way ANOVA with repeated measures)을 실시하였으며, 유의수준 α 는 .05로 설정하였다.

III. 결 과

1. P300 잠재기의 변화

P300의 잠재기는 모든 영역에서 고역통과필터와 저역

Table 2. Changes of P300 latency

Area	Band pass filter (Hz)		Latency (ms)	F		
	HPF	LPF		HPF	HPF × LPF	LPF
Fz	.01	30	318.40±60.18	.525	1.377	5.521*
		15	353.95±67.17			
	.1	30	322.80±65.77			
		15	353.75±67.06			
	.3	30	323.00±65.29			
		15	352.00±69.16			
Cz	.01	30	358.05±63.90	1.745	1.536	.515
		15	349.25±61.66			
	.1	30	358.25±64.07			
		15	348.65±62.42			
	.3	30	357.85±63.74			
		15	348.60±61.88			
Pz	.01	30	368.00±65.70	.901	1.121	.005
		15	367.20±48.34			
	.1	30	361.45±62.83			
		15	367.60±48.35			
	.3	30	374.30±50.79			
		15	367.15±48.39			

Mean±SD, *p<.05, HPF; high pass filter, LPF; low pass filter

통과필터 사이의 상호작용은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 주효과 분석에서는 모든 영역에서 고역통과필터에 따른 차이는 없는 것으로 나타났으며, Fz 영역에서만 저역통과필터에 따라서 다른 것으로 나타나($p < .05$) 30 Hz가 15 Hz보다 좀 더 짧은 잠재기가 기록되는 것으로 나타났다(Table 2).

2. P300 진폭의 변화

P300의 진폭은 모든 영역에서 고역통과필터와 저역통과필터 사이의 상호작용은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 주효과 분석에서는 Pz 영역에서만 저역통과필터에 따라서 다른 것으로 나타났으며 ($p < .01$), 30 Hz가 15 Hz가 좀 더 높은 진폭이 기록되는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. Changes of P300 amplitude

Area	Band pass filter (Hz)		Amplitude (μV)	F		
	HPF	LPF		HPF	HPF × LPF	LPF
Fz	.01	30	12.03±6.63	.314	1.875	1.502
		15	11.01±6.09			
	.1	30	12.03±6.63			
		15	11.32±6.27			
	.3	30	11.79±6.44			
		15	11.59±6.03			
Cz	.01	30	9.98±4.58	.758	.979	2.010
		15	9.80±4.98			
	.1	30	9.99±4.57			
		15	9.55±4.60			
	.3	30	10.03±4.55			
		15	9.60±4.56			
Pz	.01	30	7.32±3.70	.821	1.775	11.844**
		15	6.91±3.69			
	.1	30	7.32±3.69			
		15	6.91±3.69			
	.3	30	7.32±3.71			
		15	6.99±3.66			

Mean±SD, ** $p < .01$, HPF; high pass filter, LPF; low pass filter

IV. 고찰

본 연구는 주파수 통과대역필터가 작업기억 관련 사건관련전위 P300에 미치는 영향을 알아보기 위해 대상자들이 3-back 과제를 수행하는 동안에 측정된 사건관련전위 P300의 신호를 0.01 Hz, 0.1 Hz, 0.3 Hz의 3가지 고역통과필터와 30 Hz, 15 Hz의 2가지 저역통과필터에 따른 Fz, Cz, Pz 영역의 P300 잠재기(latency)와 진폭(amplitude)

값을 각각 분석하였다.

P300의 잠재기는 Fz 영역에서만 저역통과필터에 따라 다른 것으로 나타났는데, 30 Hz의 저역통과필터가 15 Hz의 저역통과필터보다 잠재기가 감소한 것으로 나타났다. 따라서 P300의 잠재기는 Fz 영역에서만 고역통과필터의 종류와 관계없이 30 Hz의 저역통과필터가 15 Hz의 저역통과필터보다 짧은 잠재기가 분석되는 것으로 나타났다. P300의 진폭은 Pz 영역에서만 저역통과필터에 따라 다

른 것으로 나타났는데, 30 Hz의 저역통과필터가 15 Hz의 저역통과필터보다 진폭이 증가한 것으로 나타났다. 따라서 P300의 진폭은 Pz 영역에서만 고역통과필터의 종류와 관계없이 30 Hz의 저역통과필터가 15 Hz의 저역통과필터보다 높은 진폭이 기록되는 것으로 나타났다.

P300의 진폭은 전극위치가 Fz 영역으로 갈수록 작아지고 Cz 영역이나 Pz 영역으로 갈수록 뚜렷해지며, 다른 사건관련전위들을 동시에 파악하기에는 Cz 영역이 적절하고 P300 결정을 하기 위해서는 Pz 영역이 적절하다 (Kim 등, 2017). 본 연구에서도 P300의 진폭은 Fz 영역과 Cz 영역에서는 주파수 대역통과필터에 따른 차이는 없었으며, Pz 영역에서만 저역통과필터에 따른 차이가 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 눈 움직임 등의 잡파를 제거하기 위해서 진폭차이(amplitude difference)가 100 μV 를 넘는 뇌파는 제거하였기 때문에 눈 움직임 등의 잡파 유입이 가장 많은 Fz 영역과 일부 영향을 받는 Cz 영역의 뇌파들은 사건관련전위들이 제거된 후 분석하였다. 따라서 이로 인한 영향을 배제할 수 없었으나 진폭은 Fz 영역과 Cz 영역에서는 주파수통과대역필터에 따른 차이가 없었으며, Pz 영역에서만 오직 저역통과필터에 따른 차이가 나타났기 때문에 P300 사건관련전위의 진폭을 기록하고 결정하는 데는 Pz 영역에서 저역통과필터 30 Hz가 15 Hz보다 적절한 것으로 생각된다.

Bougrain 등(2012)은 문자의 정확도와 관련된 P300의 연구에서 0.1 Hz, 0.5 Hz, 1 Hz의 고역통과필터와 8 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 60 Hz의 저역통과필터 중 0.1~15 Hz의 주파수 통과대역필터에서 가장 높은 P300의 진폭을 나타낸 것으로 보고하면서 0.1~15 Hz의 주파수 통과대역필터가 잡음(noise)을 제거하고 P300의 정보를 보존하는데 도움이 된다고 주장하였다. 따라서 본 연구의 결과에서 저역통과필터의 결과와는 다른 것으로 나타났는데, 이것은 제시된 과제의 종류에 따라 저역통과필터는 영향을 받는 것으로 생각되며, 문자의 정확도를 알아보는 사건관련전위 P300에서는 15 Hz의 저역통과필터가 적절하며, 3-back 과제를 제시한 사건관련전위 P300은 30 Hz의 저역통과필터가 적절한 것으로 생각된다.

Picton(1992)은 고역통과필터를 0.1 Hz 또는 그 이하로 설정하는 것이 P300을 최고로 기록하였다고 하였으며,

0.5 Hz 이상으로 설정하면 P300의 진폭이 감소되는데, P300 후기 부분이 위상의 뒤틀림(phase distortion) 때문에 음(negative) 값이 된다고 하였다. 언어의 이해에 대한 연구에서 N400은 의미적(semantic)/실용적(pragmatic)인 과정과 관련이 있으며, P600은 통어적 정보(syntactic information)와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Regel 등, 2014). Tanner 등(2015)은 언어와 인지에 대한 사건관련전위 연구에서 자극 제시 후 500 ms에서 800 ms 사이의 양전위(positive potential) 정점 값인 P600에서 0.01과 0.1 Hz 필터 사이의 차이는 없었으며, 0.3 Hz 이상의 고역통과차단(high-pass filter cutoff)을 사용하면 300 ms에서 500 ms 사이의 음전위(negative potential) 정점 값인 N400의 시작처럼 해석되는 인공정점(artifactual peak)이 만들어질 수도 있다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 고역통과필터가 0.3 Hz 이하에서는 P300의 진폭이 차이가 없는 것으로 나타나 고역통과필터는 선행연구들의 결과와는 일부 다른 것으로 나타났는데, 이것은 사건관련전위 시간에 따른 차이인 200 ms~500 ms 사이의 P300과 500 ms에서 800 ms 사이의 P600과 같은 사건관련전위의 시간에 따른 차이에 따라 0.3 Hz의 고역통과필터는 진폭에 미치는 영향이 달라질 수도 있는 것으로 생각된다.

Kim(2007)은 주파수 통과대역필터를 0.03~30 Hz로 설정하고 n-back 과제의 기억 부하량에 따른 사건관련전위 연구에서 특히 3-back 조건에서 Pz 영역의 P300 진폭이 높은 것으로 나타났는데, 이것은 3-back 조건에서 항목이 3가지로 증가되면서 항목을 기억하고 3가지의 항목 중에서 올바른 시행과의 비교를 통해 성공적으로 과제를 수행한 것이므로 좀 더 높은 인지적 과정이 포함될 수도 있을 것으로 주장하였다. 따라서 Pz 영역의 P300 진폭은 저역통과필터 뿐만 아니라 사건관련전위 연구에서 부여되는 과제의 종류에 따라 달라질 수 있는 것으로 생각되며, 3-back 과제 수행을 통한 작업기억 관련 P300의 진폭은 Pz 영역에서 뚜렷하게 관찰되면서 0.01 Hz, 0.1 Hz, 0.3 Hz의 고역통과필터에 따라서는 달라지지 않고 15 Hz보다 30 Hz의 저역통과필터에서 높은 진폭을 나타내는 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 P300의 잠재기 변화에 주파수필터와 관련한 선행연구가 거의 없었기에 이를 비교 설명하는 데는 어려움이 있었다. Kim 등(1997)은 P300의 잠

복기와 진폭은 성별에 따라 차이가 없었지만 전체 연령대와 60대 이상의 연령군은 차이가 있었다고 보고하여 본 연구의 대상자가 20대 여성이라는 점에 이르기까지 60대 이상 대상자의 결과로 확대해석하기에는 제한점이 있다.

V. 결론

본 연구는 주파수 통과대역필터가 작업기억 관련 사건관련전위 P300에 미치는 영향을 알아보기 위해 연구를 실시하였으며, 그 결과 0.01 Hz, 0.1 Hz, 0.3 Hz의 고역통과필터에 따른 P300의 잠재기와 진폭은 차이가 없었으며, 잠재기는 Fz 영역에서만 15 Hz보다 30 Hz의 저역통과필터가 좀 더 짧은 잠재기를 나타내며, 진폭은 Pz 영역에서만 15 Hz보다 30 Hz의 저역통과필터가 좀 더 높은 진폭이 기록되는 것으로 나타났다.

따라서 주파수 통과대역필터는 사건관련전위의 과제 제시 방법 등에 따라 P300의 큰 진폭을 기록할 수 있는 최적의 고역통과필터 및 저역통과필터가 달라질 수도 있을 것으로 생각된다. 또한 작업기억 관련 사건관련전위 연구에서는 0.01 Hz 이상 0.3 Hz 이하의 고역통과필터 사이는 P300의 잠재기 및 진폭에 차이가 없기 때문에 이 중에 어느 하나를 선택해도 비슷한 결과를 보이며, 저역통과필터는 15 Hz보다 30 Hz가 최적의 P300을 기록하는데 유용할 것으로 생각된다.

참고문헌

- Baddeley AD(1986). Working memory. Oxford, Oxford University Press, pp.289.
- Eom JS, Eum YJ, Sohn JH, et al(2010). Effects of high pass filter settings on P300 waveform. *J Sci Emot Sensibil*, 13(1), 179-186.
- Kang JK, Gu YS, Kwon OY, et al(2017). Art and application of EEG analysis. Seoul, Medbook, pp.250-270.
- Kim DW, Kim MS, Kim SP, et al(2017). Understanding and application of EEG. Seoul, Hakjisa, pp.166.
- Kim HD, Kim GK, Lim YJ, et al(1997). Normal value of cognitive evoked potentials in Koreans. *J Korean Neurosurg Soc*, 26(9), 1190-1196.
- Kim JH, Woo MJ(2016). The ERP study of cognitive information processing in high risk adolescents of suicide. *Journal of the Korean Society for Wellness*, 11(1), 151-164. <https://doi.org/10.21097/ksw.2016.02.11.1.151>.
- Kim MS(1995). Event-related potentials(ERPs) and its clinical utilization. *Kor J Clin Psychol*, 14(1), 253-263.
- Kim TH(2007). Comparison of ERP components related to memory loading at N-back task. Graduated school of Chonnam National University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Kwon JS(2000). The use of event-related potentials in the study of cognitive functions. *J Cogn Sci*, 1(1), 79-98.
- Meegan DV, Purc-Stephenson R, Honsberger MJM, et al(2004). Task analysis complements neuroimaging: an example from working memory research. *NeuroImage*, 21(3), 1026-1036. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.10.011>.
- Picton TW(1992). The P300 wave of the human event-related potential. *J Clin Neurophysiol*, 9(4), 456-479. <https://doi.org/10.1097/00004691-199210000-00002>.
- Regel S, Meyer L, Gunter TC(2014). Distinguishing neurocognitive processes reflected by P600 effects: evidence from ERPs and neural oscillations. *PLoS One*, 9(5), Printed Online. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096840>.
- Sur S, Sinha VK(2009). Event-related potential: an overview. *Ind Psychiatry J*, 18(1), 70-73. <https://doi.org/10.4103/0972-6748.57865>.
- Tanner D, Morgan-short K, Luck SJ(2015). How inappropriate high-pass filters can produce artifactual effects and incorrect conclusions in ERP studies of language and cognition. *Psychophysiology*, 52(8), 997-1009. <https://doi.org/10.1111/psyp.12437>.
- Wijnen VJ, Eilander HJ, de Gelder B, et al(2014). Repeated measurements of the auditory oddball paradigm is related to recovery from the vegetative state. *J Clin*

- Neurophysiol, 31(1), 65-80. <https://doi.org/10.1097/01.wnp.0000436894.17749.0c>.
- Xiao Y, Wu J, Li J, et al(2019). The neuro patterns prior to error responses in long-lasting working memory task: an event-related potential study. *Front Behav Neurosci*, 13, Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2019.00277>.
- Bougrain L, Saavegra C, Ranta R. Finally, what is the best filter for P300 detection? TOBI Workshop III- Tools for Brain-Computer Interaction, 2012. Available at <https://hal.inria.fr/hal-00756669/> Accessed March 27, 2020.