

# 한국 정상인에서 명소 망막전위도의 ON 반응과 OFF 반응

박수은<sup>1</sup> · 장지호<sup>1</sup> · 최경식<sup>1</sup> · 이정희<sup>2</sup> · 은영훈<sup>1</sup>

순천향대학교 의과대학 안과학교실<sup>1</sup>, 이화여자대학교 의과대학 안과학교실<sup>2</sup>

**목적** : 국내에서 아직까지 임상적 이용이 어려운 원뿔세포의 ON 반응과 OFF 반응에 대해 광자극의 길이 및 세기와 배경조명에 따른 파형 변화를 살펴보고, 한국인 정상안에서 ON 반응과 OFF 반응을 잘 얻을 수 있는 최적화된 조건을 얻고자 하였다.

**대상과 방법** : 정상안 20안을 대상으로 길이 조절이 가능한 백색광의 발광 다이오드(light-emitting diodes, LEDs)를 이용하여 명순응 하 ON 반응과 OFF 반응을 측정하였다. 자극광의 길이는 5 ms부터 200 ms까지 점차 증가시켜 반응을 관찰하였고, 자극의 세기는 0.4, 0.7, 1.1, 1.4, 1.7, 1.9, 2.0, 2.1 log cd/m<sup>2</sup>로 증가시키면서 a, b, d파의 변화를 살펴 보았으며, 배경 조명은 20, 30, 40, 50 cd/m<sup>2</sup>로 증가시켜 보았다.

**결과** : 20안 중 16안에서 50 ms부터 b파와 d파가 분리되었고, 3안은 30 ms에서, 1안은 100 ms에서 d파가 분리 되었다. 자극의 세기가 증가함에 따라 b파와 d파의 진폭은 증가하였다. 일정한 세기의 광자극에서 배경조명이 증가함에 따라 b파와 d파의 세기는 감소하였다.

**결론** : 정상인의 ON 반응과 OFF 반응을 측정 시, 1.7-2.1 log cd/m<sup>2</sup> 세기와 100-150 ms 자극길이의 광자극을 30-40 cd/m<sup>2</sup> 크기의 배경조명 하에서 이용하면, 최적의 반응을 얻을 수 있었다.

〈한안지 49(3):471-478, 2008〉

현재 임상에서 사용하고 있는 ISCEV (International Society for Clinical Electrophysiology of Vision)<sup>1</sup>가 정한 표준 망막전위도는 기본 5가지 반응인 막대세포 반응(Rod response), 최대혼합반응(Maximal combined response), 진동소파전위(Oscillatory potentials), 원뿔세포 반응(Cone response)과 30 Hz 점멸반응(30 Hz flicker response)으로 구성되어 있으며, 자극장치는 돔형의 전체시야 자극장치(Ganzfeld stimulator)를 추천하고 있다. 표준 망막전위도의 원뿔세포 반응은 명순응 하에서 5 ms 이하 길이의 광자극을 이용하며 이 때, 원뿔세포로부터 기인하는 양전위파인 b파를 얻을 수 있다. 원뿔세포의 시각경로는 ON-center 양극세포와 OFF-center 양극세포들에 의해 전달되며, 이들 경로에 해당하는 반응을 망막전위도 상에서 도출하기 위해 자극시간을 길게

한 광자극을 이용하는 새로운 방법을 이용하여 ON 경로와 OFF 경로의 반응을 분리하였다.<sup>2,3</sup> 30 ms 이상의 광자극을 이용하여 명소 망막전위도를 시행하면 뚜렷한 3가지 파형이 나타나는데, 가장 먼저 나타나는 음전위파인 a파가 자극이 주어진 직후에 나타나고, ON 경로에 해당하는 b파가 a파를 이어 양전위파로 나타나며, d파는 두 번째로 나타나는 양전위파로 이는 OFF 경로에 해당하며 광자극이 끝난 후에 나타나게 된다. 이러한 연구로, 여러 형태의 원뿔세포 또는 막대세포 이상증 환자들에서 ON 경로와 OFF 경로의 반응을 도출해 보고, 광수용체 자체보다는 수용체후부경로의 기능 이상 가능성을 전기생리학적으로 증명할 수 있었다.<sup>4-7</sup>

그러나, 국내에서는 아직 자극광의 길이를 조절할 수 있는 자극장치를 임상에서 사용한 보고는 없으며, 따라서, ON 반응과 OFF 반응을 망막전위도 상에서 얻을 수 있는 방법의 최적화와 결과분석에 기준이 될 수 있는 데이터를 마련하는 것이 ON 반응과 OFF 반응의 임상 이용에 앞서 필요할 것으로 생각된다. 저자들은 이에 착안하여, 정상인을 대상으로 ON 반응과 OFF 반응을 얻어보고자 하였다.

〈접수일 : 2007년 7월 16일, 심사통과일 : 2007년 9월 17일〉

통신저자 : 은 영 훈  
경기도 부천시 원미구 중동 1174  
순천향대학교 부천병원 안과  
Tel: 032-621-5053, Fax: 032-621-5344  
E-mail: yjohn@sch.ac.kr

## 대상과 방법

정상인의 명소 망막전위도의 ON 반응과 OFF 반응을 얻기 위해 21세부터 35세(평균 26세)의 20명 20안(남자 9명, 여자 11명)의 대상군을 모집하였다. 망막전위도 검사를 시행하기 위해 Mydrin-P (0.5% tropicamide, 0.5% phenylephrine hydrochloride)를 5분 간격 3회 점안하여 동공을 충분히 확대시킨 후 동일하게 10분간 명순응시켰다. 0.5% proparacaine (Alcaine<sup>®</sup>)으로 국소 점안마취 후 각막전극을 삽입하였다. 각막전극은 접촉되는 전극으로부터 직접 광자극이 주어지는 LED 전극을 사용하였고, 삽입 시 2% hydroxypropylmethylcellulose를 소량 도포하였다. 접지전극은 검사안과 같은 쪽 컷볼에 부착하였고, 기준전극은 이마중심에 부착하였다. 광자극장치는 각막 접촉 LED 전극으로부터 광자극이 주어짐에 따라 전체 시야에 광자극이 가능하며 길이가 조절 가능한 백색광의 발광 다이오드(light-emitting diodes, LEDs)를 이용하였다(Fig. 1). 자극의 길이에 따른 파형의 변화를 보기 위해서 자극의 시간은 LED 드라이버에서 설정이 가능한 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200

ms로 점차 증가시키면서 반응을 관찰하였고, 이 때 자극의 세기  $2.1 \log \text{cd}/\text{m}^2$ 과 배경자극  $40 \text{cd}/\text{m}^2$ 을 유지하였다. 광자극의 세기에 따른 파형의 변화를 알아보기 위해서 배경자극  $40 \text{cd}/\text{m}^2$ 와 150 ms의 자극시간을 유지하면서 자극의 세기는  $0.4 \log \text{cd}/\text{m}^2$ 부터  $2.1 \log \text{cd}/\text{m}^2$ 까지에서 설정 가능한 크기인, 0.4, 0.8, 1.1, 1.4, 1.7, 1.9, 2.0,  $2.1 \log \text{cd}/\text{m}^2$ 으로 순차적으로 증가시켜 보았다. 배경자극 세기에 대한 변화를 보기 위해서는, 광자극의 세기 1.4, 1.7, 1.9,  $2.1 \log \text{cd}/\text{m}^2$  각각에서 배경자극 세기를  $20 \text{cd}/\text{m}^2$ 부터  $50 \text{cd}/\text{m}^2$ 까지  $10 \text{cd}/\text{m}^2$  단위로 증가시킬 때 파형의 변화를 보았으며, 이 때 자극의 길이는 150 ms로 일정하게 하였다.

b파는 a파 끝부터 처음 나타나는 양전위파의 정점까지의 높이로 기록하였으며, d파는 광자극의 소멸 지점부터 두 번째로 나타나는 양전위파의 정점까지의 높이를 기록하였다. high cut은 500 Hz, low cut은 0.3 Hz로 하였고, 1초의 간격을 두고 8번의 반응을 얻어 이의 평균값을 구했다. 모든 검사와 반응의 정점 선택은 동일한 검사자에 의해 시행되어 검사자 간의 차이로 인한 오차를 배제하였다. b파와 d파의 진폭, b/d 비에 대해 평균과 표준편차를 구하였다.



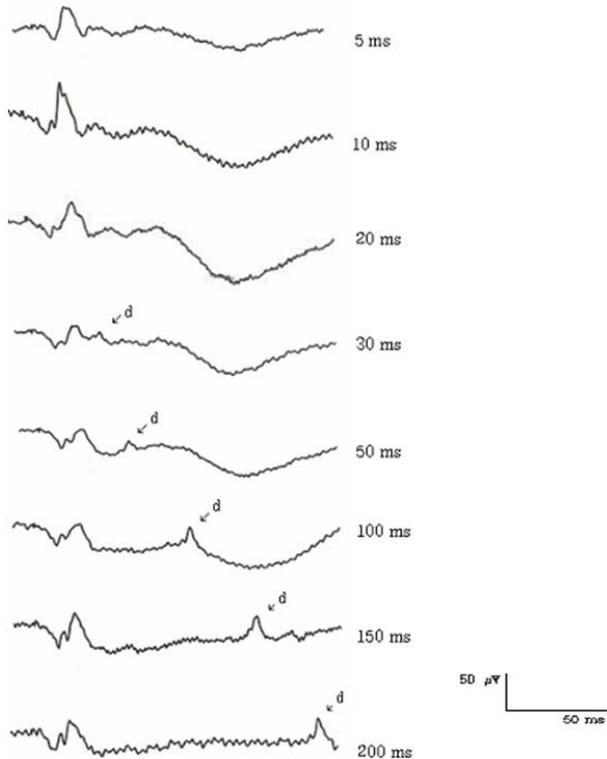
**Figure 1.** (A) LED-driver (size 20W×16D×6H cm, weight 800 gm; Mayo Co., Nagoya, Japan), (B) contact lens electrode with build-in white LEDs.



## 결 과

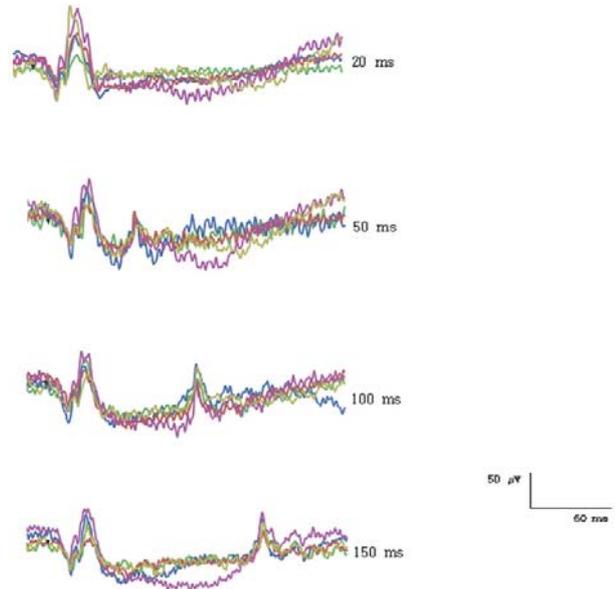
### 1. 광자극의 길이에 따른 파형의 변화

자극시간을 5 ms부터 200 ms까지 점차적으로 증가 시켜 볼 때, d파의 분리가 가능하였다(Fig. 2, 3). 20 안 중 16안은 50 ms 에서 d파가 나타나기 시작했고, 3 안은 30 ms부터, 1안은 100 ms에서 d파가 분리되었다. 양전위의 b파와 50 ms 이상 광자극이 주어질 때 광자극이 끝나는 시점에서 나타나는 양전위의 d파 사이에는 음전위의 플래토가 20안 모두에서 형성되었고, b/d 비는 1이상이었다. d파가 나타난 이후, 순수한 b파의 진폭은 100 ms에서 최대값 60.93  $\mu\text{V}$ 을 보였다가 감소하

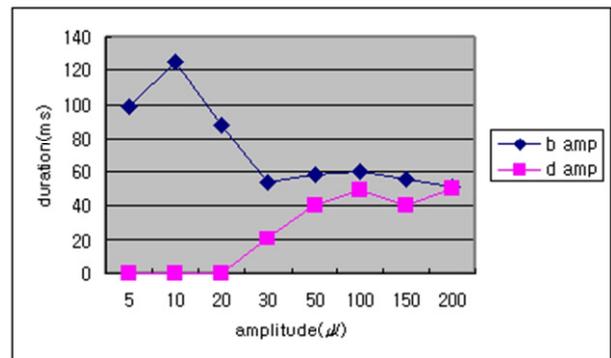


**Figure 2.** The ON- & OFF- responses of a normal human subject elicited with different stimulus durations. (2.1 log  $\text{cd}/\text{m}^2$  intensity, 40  $\text{cd}/\text{m}^2$  background luminance)

였다. 이에 반해, d파의 진폭은 점점 증가하여 100 ms에서 평균 49.43  $\mu\text{V}$ 로 최대진폭을 나타내었다가 150 ms에서 40.08  $\mu\text{V}$ 로 약간 감소를 보였지만 200 ms에서는 다시 50.09  $\mu\text{V}$ 로 증가하였다(Table 1, Fig. 4).



**Figure 3.** Consistency of ON- & OFF- responses of normal human subjects elicited with different stimulus durations. (2.1 log  $\text{cd}/\text{m}^2$  intensity, 40  $\text{cd}/\text{m}^2$  background luminance)



**Figure 4.** The averages of b- and d-wave amplitudes shown at different stimulus durations. (2.1 log  $\text{cd}/\text{m}^2$  intensity, 40  $\text{cd}/\text{m}^2$  background luminance) ( $n=20$ )

**Table 1.** The averages of ON- and OFF- responses of 20 normal subjects with different stimulus durations (2.1 log  $\text{cd}/\text{m}^2$  intensity, 40  $\text{cd}/\text{m}^2$  background luminance)

	stimulus duration (ms)							
	5	10	20	30	50	100	150	200
a amp* ( $\mu\text{V}$ )	33.32 $\pm$ 10.31	32.13 $\pm$ 18.79	35.15 $\pm$ 11.13	38.4 $\pm$ 11.91	40.83 $\pm$ 13.13	38.19 $\pm$ 9.86	36.43 $\pm$ 12.46	35.15 $\pm$ 14.95
b amp* ( $\mu\text{V}$ )	99.03 $\pm$ 21.53	124.8 $\pm$ 21.53	87.51 $\pm$ 21.53	54.08 $\pm$ 21.53	58.09 $\pm$ 27.90	60.93 $\pm$ 19.7	56.73 $\pm$ 23.44	51.08 $\pm$ 25.2
d amp* ( $\mu\text{V}$ )	-	-	-	21.59 $\pm$ 7.09	40.60 $\pm$ 21.37	49.43 $\pm$ 16.12	40.08 $\pm$ 21.46	50.09 $\pm$ 21.02
b/d ratio	-	-	-	2.54 $\pm$ 0.62	1.71 $\pm$ 0.52	1.26 $\pm$ 0.30	1.42 $\pm$ 5.44	1.00 $\pm$ 0.19

\* amplitude.

2. 광자극의 세기에 따른 파형의 변화

자극의 세기를 0.4 log cd/m<sup>2</sup>부터 2.1 log cd/m<sup>2</sup> 까지 증가시키며 따라 b파와 d파의 진폭은 증가하였고 (Fig. 5, 6), 2.0 log cd/m<sup>2</sup> 이상에서는 b파와 d파의 증가 정도가 감소하였다(Table 2, Fig. 7).

3. 배경자극 세기의 변화에 따른 파형의 변화

1.4, 1.7, 1.9, 2.1 log cd/m<sup>2</sup> 광자극의 세기에 대하여 모두 배경자극 세기가 커짐에 따라 b파와 d파는 감소하였다(Table 3, Fig. 8, 9).

고찰

망막전위도는 광자극에 의해 망막에 분포하는 여러 가지 세포들이 발생하는 전기적 반응을 기록함으로써

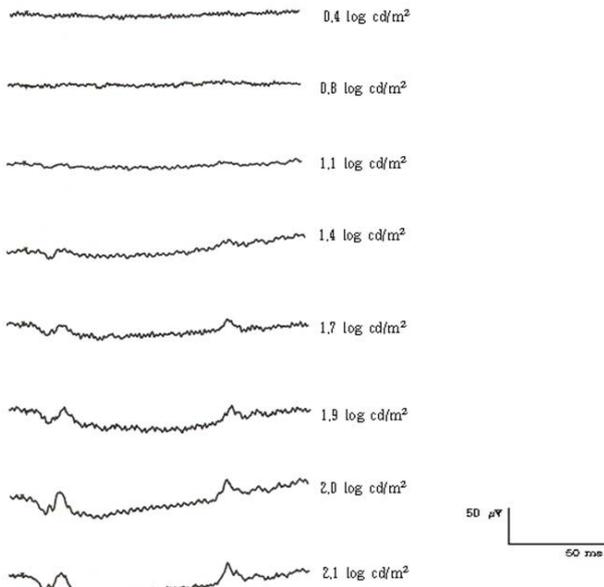


Figure 5. The ON- & OFF- responses of a normal human subject elicited with different stimulus intensities. (150 ms duration, 40 cd/m<sup>2</sup> background luminance)

망막의 기능을 총체적으로 보여줄 수 있는 유용한 검사로 널리 알려져 있다. 1989년 국제임상시각전기생리학회(ISCEV)<sup>1</sup>가 검사방법의 표준화를 위해 국제 기준을 제시한 이래, 검사결과의 객관적 비교 및 분석이 가능하게 되었고, 표준망막전위도는 임상에서 여러 망막질환의 진단과 평가에 중요한 도구로 자리 잡고 있다. 광자극에 의해 망막전위도에 기록되는 파형들은 각각의 발생원을 가지는데, 가장 먼저 나타나는 음전위인 a파는 광수용체의 전위를 의미하며, 양전위인 b파는 양극세포 및 뿔리세포에 의해 발생된다. 따라서, a파의 보존과 b파의 감소가 나타날 때 광수용체후부경로의 이상

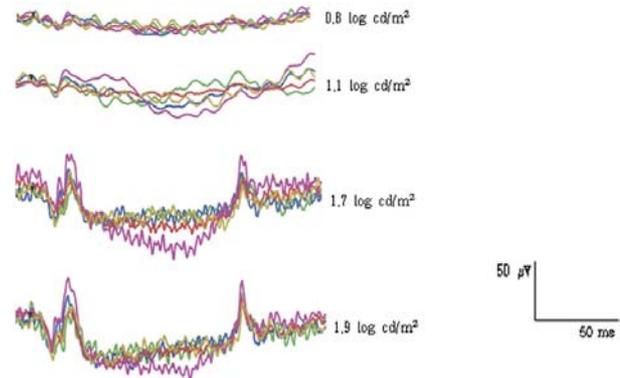


Figure 6. Consistency of ON- & OFF- responses of normal human subjects elicited with different stimulus intensities. (150 ms duration, 40 cd/m<sup>2</sup> background luminance)

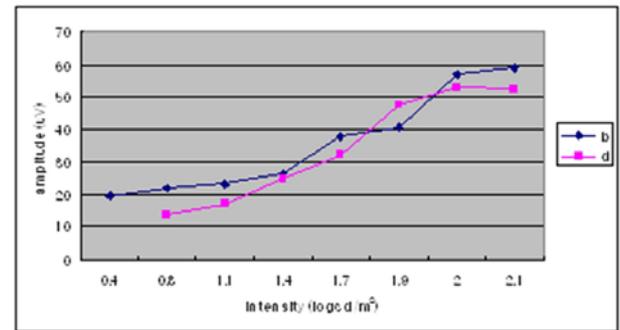
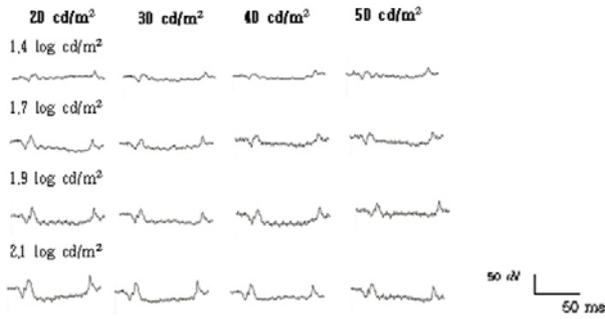


Figure 7. The averages of b- and d- wave amplitudes shown at different stimulus intensities. (150 ms duration, 40 cd/m<sup>2</sup> background luminance) (n=20)

Table 2. The averages of ON-and OFF-ERG responses of 20 normal subjects with different stimulus intensities (150 ms duration, 40 cd/m<sup>2</sup> background luminance)

	stimulus intensity (log cd/m <sup>2</sup> )							
	0.4	0.8	1.1	1.4	1.7	1.9	2	2.1
a amp* (µV)	15.2	17.48±4.58	21.70±10.35	21.83±7.44	30.44±7.96	34.03±7.05	37.38±5.32	39.11±5.22
b amp* (µV)	19.7	21.83±8.23	23.41±11.98	26.50±7.24	38.19±15.8	40.75±35.11	57.76±18.65	59.26±21.57
d amp* (µV)	-	14.7±5.80	17.43±6.12	25.26±8.37	32.45±10.29	47.80±14.46	52.85±12.64	52.78±11.05
b/d ratio	-	1.12±0.18	1.40±0.39	1.08±0.21	1.06±0.59	1.13±0.33	1.10±0.28	1.13±0.34

\* amplitude.

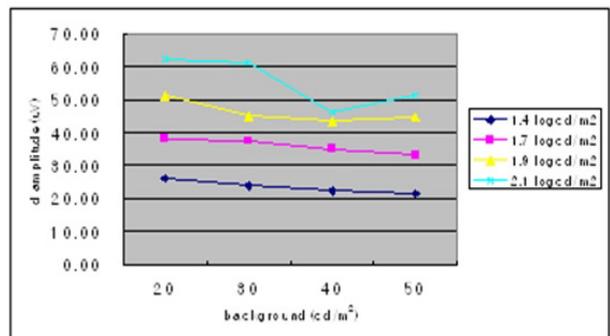
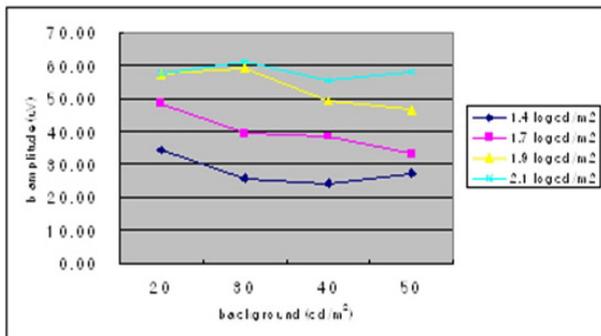


**Figure 8.** The ON- & OFF- responses of a normal human subject elicited with different background luminances and intensities. (150 ms duration)

을 의심해 볼 수 있다. 진동소파전위는 내망상층의 정보전달과정으로 아마크린 세포에 의해 b파의 상승부위에서 3~4개의 매우 작은 전위로 나타나게 된다. 이처럼, 표준 망막전위도를 시행한 후에 a파와 b파 및 각각의 파형 변화를 암순응 및 명순응 하에서 살펴봄으로써

시력감소의 원인이 광수용체 또는 시각전달 세포들의 이상에 의한 것인지에 대한 정보를 제공한다.

표준 망막전위도의 원뿔세포반응과 30 Hz 점멸반응은 약 10분 간의 명순응 후 시행하게 되며 선택적으로 원뿔세포의 기능을 평가하는 데 유용하지만, 5 ms의 짧은 광자극으로는 원뿔세포 반응이 양전위의 b파 하나로 나타나며, 이는 원뿔세포의 두 가지 시각경로인 ON 경로와 OFF 경로를 분리하여 보여주지는 못한다. 광자극을 길게 준 후 두 경로를 분리하여 보여주는 망막전위도 측정 방법이 소개되어지면서 여러 가지 망막세포이상증 또는 변성이 의심되어지는 경우 이의 병리기전을 이해하는데 도움을 줄 수 있게 되었다.<sup>8-11</sup> 광자극에 의해 과분극된 막대세포가 시각전달을 하는 양극세포는 모두 탈분극되며 ON 반응에 기여하는 단일경로인 반면, 원뿔세포의 시각전달은 두 가지 경로이며 광자극을 받아 과분극된 원뿔세포가 전달하는 시각정보에 의해 탈분극되는 양극세포에 의한 ON 경로와 과분극

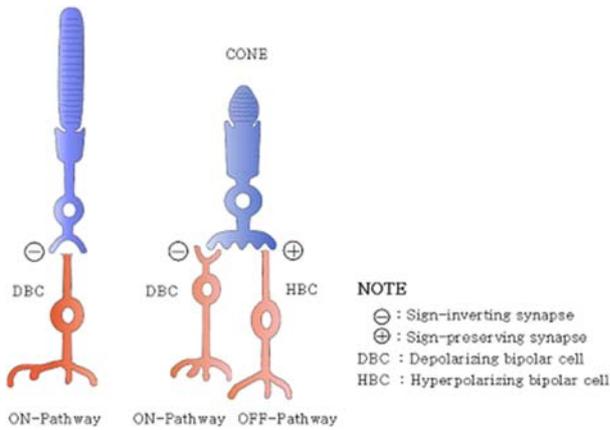


**Figure 9.** The average amplitudes of (a) b-wave and (b) d-wave amplitudes shown at different background luminances and intensities. (150 ms duration) ( $n=20$ )

**Table 3.** The averages of ON-and OFF- responses of 20 normal subjects with different background luminances, intensities, and 150 ms duration

stimulus intensity (log cd/m <sup>2</sup> )	background luminance (cd/m <sup>2</sup> )			
	20 <sup>†</sup>	30	40	50
1.4				
b amp* (μV)	34.04±22.19	25.61±11.54	24.35±8.90	27.22±9.74
d amp* (μV)	26.07±8.29	23.94±11.30	22.20±7.93	21.68±7.94
1.7				
b amp* (μV)	48.63±22.44	39.29±24.39	38.43±20.33	32.94±26.29
d amp* (μV)	37.99±15.43	37.30±17.95	34.94±15.48	33.07±15.17
1.9				
b amp* (μV)	57.41±25.96	59.21±26.38	49.19±20.60	46.41±16.70
d amp* (μV)	51.16±18.48	44.81±14.91	43.61±17.72	44.74±17.09
2.1				
b amp* (μV)	57.54±22.15	61.09±19.48	55.20±24.79	58.16±25.15
d amp* (μV)	62.40±21.01	61.04±18.33	46.30±13.23	51.07±17.97

\* amplitude.



**Figure 10.** Retinal rod and cone pathways. (From *Trans Am Ophthalmol Soc* 1993; 91:701-73)

되는 OFF 경로로 이루어져 있다(Fig. 10).<sup>2,12-14</sup> 명순응 후 광자극을 길게 줄 때, 광자극의 시작과 함께 ON 반응인 a, b파가 나타나고, 광자극이 끝나는 지점에서 OFF 반응인 양전위의 d파가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 배경조명에 의해 막대세포 반응이 억제된 환경에서 광자극이 끝나는 시점에 보여지는 원뿔세포의 OFF 경로에서 나온 전기적 반응임을 알 수 있다.<sup>15</sup> 이렇게 분리될 수 있는 ON 반응과 OFF 반응이 현재 임상에서 사용되는 짧은 광자극을 이용한 명반응 검사시에는 두 파형이 서로 중첩되어 원뿔세포 반응을 나타내는 하나의 b파로 보여지게 된다. 이러한 ON 반응과 OFF 반응을 얻기 위해서는 Sieving<sup>2</sup>은 30 ms 이상의 광자극이 필요하다고 하였고, Kondo et al<sup>16</sup>은 25-50 ms 이상의 광자극에서 d파를 관찰할 수 있다고 하였으며, Seiple and Holopiqian<sup>17</sup>은 100 ms보다 짧은 광자극에서는 d파를 측정할 수 없었다고 하였으나, 광자극의 길이 외에 자극의 세기와 배경조명의 요소 등이 달라 이들이 결과에 영향을 줄 수 있기 때문으로 생각된다.

ISCEV에서는 광자극을 위한 자극장치로서 돔형의 전체시야 자극장치를 사용하는 것을 권장하고 있는데, 이러한 자극장치는 반구 내에서 자극광이 분산되므로 망막전체를 고르게 자극할 수 있는 장점이 있는 반면, 반구 내에서 반사된 빛은 강도가 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이에 반해, 이 연구에서는 발광 다이오드(light-emitting diodes, LEDs)가 내장된 각막전극을 사용하였는데, 광자극이 직접 전극으로부터 각막으로 전달되는 LED 전극과 LED광 드라이브를 사용하였다. 이는 돔형의 전체시야 자극장치(Ganzfeld stimulator)보다 매우 간편하고 공간을 차지하지 않으며, 휴대가 가능한 장점을 가진다. 또한, 발광 다이오드는 기존의 자극장치에 쓰이는 제논 방전관이 약 0.5-1.5 log cd

s/m<sup>2</sup>의 세기를 발하는데 비해 작은 전류를 이용하여 기존의 자극장치와 같은 짧은 시간의 광자극에서도 1.6 log cd s/m<sup>2</sup>의 세기의 광자극을 발생시킬 수 있으며, 자극 시간을 조절할 수 있으므로 ON 반응과 OFF 반응을 분리할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다.<sup>18,19</sup>

ON 반응과 OFF 반응을 임상에 이용하기 앞서 정상인의 반응을 연구한 국외의 보고로 Sieving<sup>2</sup>은 가능한 최대 세기는 동일한 조건에서 10 ms와 150 ms의 길이 광자극을 이용하여 정상인 46인의 ON 반응과 OFF 반응 결과를 비교하였다. 10 ms의 단자극에 의한 b파는 150 ms 자극에 의한 b파보다 평균 약 1.85배의 진폭 크기를 보였고, 대상군의 78%에서는 10 ms 단자극에 의한 b파 진폭의 크기가 150 ms 자극에 의한 b파와 d파의 합보다 크다고 하였다. 또, 150 ms 자극에 의한 정상인들의 b파 진폭은 d파 진폭보다 평균 약 1.35배 큰 값을 보였고, b파와 d파 사이의 플래토(plateau)는 정상인에서는 항상 음전위를 보였던 반면, 원뿔세포 이상증을 보였던 몇몇의 환자에서 양전위로 나타났다고 하였다. 본 연구에서는 같은 크기의 자극 세기와 배경조명에서 자극 시간만을 변화시켜 보았을 때 20안 중 16안에서 50 ms 이상에서 b파와 d파가 분리되어 나타났다으며, b파와 d파 사이의 플래토는 20안 모두에서 음전위를 나타내었고, b/d 비는 항상 1.4보다 큰 값을 보여 비슷한 결과를 보여주었다. 그리고, Sieving의 실험 조건과 비슷한 광자극세기와 배경조명 하에서 10 ms와 150 ms의 광자극 길이일 때, b파와 d파의 진폭을 비교해 보면, 20안 모두에서 10 ms 단자극에 의한 b파 진폭의 크기가 150 ms 자극에 의한 b파와 d파의 합보다 컸다. 광자극의 길이에 따른 b파와 d파의 변화에 대해서, Sustar et al<sup>15</sup>은 d파가 35 ms부터 나타나기 시작하여 진폭이 증가하다가, 75-200 ms 사이의 자극길이에서는 b파와 d파의 진폭에 큰 변화가 없었다고 하였으나, 본 결과에서는 자극의 길이가 100 ms일 때 비교적 큰 진폭의 b파와 d파가 동시에 얻어졌으며, 100 ms보다 긴 광자극에서 b파는 다소 감소하고 있으나, 100-150 ms의 광자극으로 최적의 b파와 d파를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 광자극의 세기가 증가함에 따라 b파와 d파의 진폭은 크게 나타나, 2.1 log cd/m<sup>2</sup>에서 최대값을 보여주었다. 그러나, 광자극이 1.9 log cd/m<sup>2</sup> 이상에서는 b파의 최고점 영역이 넓어지는 경향이 나타나 최고점을 결정하는데 어려움을 겪기도 하였다. 배경자극을 일정한 광자극에서 증가시켜 볼 때, 배경자극이 약할수록 큰 값의 b파와 d파를 얻을 수 있었지만, 배경자극이 막대세포를 억제하고 있으므로, 배경자극을 감소시키는 것에도 한계가 있다.

정상인의 ON 반응과 OFF 반응에서 보이는 a파, b

파, d파의 진폭과 각 진폭크기의 비, 그리고 전체적 파형을 파악하는 것이 여러 형태의 원뿔세포 또는 막대세포 이상증 환자들에서 ON 경로와 OFF 경로의 반응을 통해 수용체후부경로의 기능 이상을 전기생리학적으로 입증할 수 있는 것의 바탕이 된다. Sieving은 또한 127명의 황반이상증 환자를 대상으로 ON 반응과 OFF 반응의 비정상적 파형을 5가지 카테고리로 정리하여 ON 반응과 OFF 반응의 결과해석에 도움을 주었다.<sup>2</sup> 첫 번째로, a, b, d파의 진폭의 전체적 감소형은 가장 많이 나타나는 이상 파형이며, 망막색소변성에서 관찰된다. 두 번째로, 선천비진행성야맹증형은 b파가 감소되는 반면, d파가 남아있는 형태로 Shubertt-Bronshein형 선천비진행성야맹증 환자에서 관찰된다. 세 번째로, 과분극형은 b파가 억제되면서 b/d, b/a 진폭비가 모두 1.0 이하인 특징을 갖는다. Shubertt-Bronshein형 선천비진행성야맹증에서와 같이 b파의 억제로 음전위파를 보이거나, 표준망막전위도 결과 상 명순응계 반응이 없거나 거의 없으면서 정상적인 암순응계 반응을 보이는 것이 다르며, 원뿔세포 이상증 환자가 ON 반응과 OFF 반응의 과분극형 이상을 보일 수 있다. 네 번째로, 탈분극형은 b파와 d파 사이의 플레토가 양전위로 나타나는 특징을 보이는데, OFF 시각경로의 시냅스 전달을 선택적으로 차단하는 약물을 이용한 원숭이 모델에서 같은 파형을 얻은 보고가 있다. 다섯 번째로, 비정상 OFF 반응형은 d파가 나타나는 직후에 과도한 음전위 스윙이 따라오는 특징을 보인다.

이러한 ON 반응과 OFF 반응의 비정상적 파형을 5가지 카테고리로 분류하는 것은 다양한 망막세포 이상증 환자에서 막대세포 및 원뿔세포의 경로차단에 관한 병리기전을 이해하는데 큰 도움을 주며, 표준망막전위도에서 비슷한 유형을 보였던 질환의 병리기전에 따른 세분화가 가능할 수도 있다. 이를 통한 망막세포 이상증의 정확한 진단은 질환의 경과를 예측하는데 있어 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 1.7-2.1 log cd/m<sup>2</sup>의 세기와 100-150 ms 길이의 광자극으로 30-40 cd/m<sup>2</sup>의 배경자극 하에서 얻고자 하는 ON 반응과 OFF 반응을 잘 보여줄 수 있었고, 이를 바탕으로 연령대가 다양하고 규모가 큰 정상 대상군과 망막세포 이상증 환자들에 대한 명순응 후 ON 반응과 OFF 반응 측정이 임상에서 이용될 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1) Marmor MF, Zrenner E. Standard for clinical electroretinography. *Doc Ophthalmol* 1995;89:199-210.

2) Sieving PA. Photopic ON-and OFF-pathway abnormalities in retinal dystrophies. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1993;91:701-73.

3) Alexander KR, Fishman GA, Peachey NS, et al. 'ON' response defect in paraneoplastic night blindness with cutaneous malignant melanoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1992;33:477-83.

4) Quigley M, Roy MS, Barsoum-Homsy M, et al. On- and off-response in the photopic electroretinogram in complete type congenital stationary night blindness. *Doc Ophthalmol* 1996-7; 92:159-65.

5) Kabanarou SA, Holder GE, Fitzke FW, et al. Congenital stationary blindness and a "Schubert-Bornschein" type electrophysiology in a family with dominant inheritance. *Br J Ophthalmol* 2004;88:1018-22.

6) Downes SM, Holder GE, Fitzke FW, et al. Autosomal dominant cone and cone-rod dystrophy with mutations in the guanylate cyclase activator 1A gene encoding guanylate cyclase activating protein 1. *Arch Ophthalmol* 2001;119:96-105.

7) Allen LE, Zito I, Bradshaw K, et al. Genotype-phenotype correlation in British families with X-linked congenital stationary night blindness. *Br J Ophthalmol* 2003;87:1413-20.

8) Miyake Y, Yagasaki K, Horiguchi M, et al. On-and off response in photopic electroretinogram in complete and incomplete types of congenital stationary night blindness. *Jpn J Ophthalmol* 1987; 31:81-7.

9) Fitzgerald KM, Cibis GW, Giambone SA, et al. Retinal signal transmission in Duchenne muscular dystrophy: evidence for dysfunction in the photoreceptor/depolarizing bipolar cell pathway. *J Clin Invest* 1994;93:2425-30.

10) Chen C, Zuo C, Piao C, Miyake Y. Recording rod ON and OFF responses in ERG and multifocal ERG. *Doc Ophthalmol* 2005; 111:73-81.

11) Usui T, Tanimoto N, Ukei S, et al. Night blindness with depolarizing pattern of ON/OFF response in electroretinogram: a case report. *Doc Ophthalmol* 2005;111:15-21.

12) Schiller PH. The On and Off channels of the visual system. *Trends Neurosci* 1992;15:86-92.

13) Falk G. Retinal physiology. In: Hekkenlively JR, Arden GB, eds. *Principles and Practice of Clinical Electrophysiology of Vision*. St Louis: Mosby, 1991: chap. 7.

14) Stell WK, Ishida AT, Lightfoot DO. Structural basis for on-and off-center responses in retinal bipolar cells. *Science* 1977;198:1269-71.

15) Sustar M, Hawlina M, Breclj J. ON- and OFF- response of the photopic electroretinogram in relation to stimulus characteristics. *Doc Ophthalmol* 2006;113:43-52.

16) Kondo M, Piao CH, Tanikawa A, et al. Amplitude decrease of photopic ERG b- wave at higher stimulus intensities in humans. *Jpn J Ophthalmol* 2000;44:20-8.

17) Seiple W, Holopiqian K. The 'OFF' response of the human electroretinogram does not contribute to the brief flash 'b-wave'. *Vis Neurosci* 1994;11:667-73.

- 18) Hogg C. The use of light emitting diodes in electrophysiology and psychophysics. In: Heckenlively JR, Arden GB, eds. Principles and Practice of Clinical Electrophysiology of Vision, St Louis: Mosby, 1991: chap. 28.
- 19) Kondo M, Piao CH, Tanikawa A, et al. A contact lens electrode with built-in high intensity white light-emitting diodes. Doc Ophthalmol 2001;102:1-9.

**=ABSTRACT=**

## **Photopic ON- and OFF- Responses in Korean Normal Subjects**

**Su-Eun Park, M.D.<sup>1</sup>, Jee Ho Chang, M.D.<sup>1</sup>, Kyung-Seek Choi, M.D.<sup>1</sup>,  
Jung-Hee Lee, M.D.<sup>2</sup>, Young-Hoon Ohn, M.D.<sup>1</sup>**

*Department of Ophthalmology, College of Medicine, Soonchunhyang University<sup>1</sup>, Bucheon, Korea  
Department of Ophthalmology, College of Medicine, Ewha Womans University<sup>2</sup>, Seoul, Korea*

**Purpose:** To explore the effects of stimulus duration, stimulus intensity, and background luminance on the amplitude and waveform of the ON- and OFF- responses of photopic ERG and to provide standard parameters of ON- and OFF- responses for normal Korean populations.

**Methods:** Twenty normal subjects (20 eyes) were enrolled to record photopic ON-and OFF-responses using a contact lens electrode with built-in LEDs and an LED-driver. The influence of stimulus duration on wave amplitudes was studied at flash durations that varied from 5 to 200 ms. The influence of stimulus intensity was studied with 0.4, 0.7, 1.1, 1.4, 1.7, 1.9, 2.0, and 2.1 log cd/m<sup>2</sup>. In addition, the influence of background luminance was studied with 20, 30, 40, and 50 cd/m<sup>2</sup>.

**Result:** Among 20 normal subjects, the d-waves in 16 subjects were isolated from b-waves with more than 50 ms of stimulus duration. The d-wave was observed for a 30-ms stimulus duration in 3 subjects and for a 100-ms duration in 1 subject. The amplitudes of the b-and d-waves increased as stimulus intensity was increased. The amplitudes of b-and d-waves decreased as background luminance was increased.

**Conclusions:** Our results suggest that the clinical use of ON-and OFF-response recording can be obtained with stimulus parameters from 100 to 150 ms in duration and a 1.7-2.1 log cd/m<sup>2</sup> intensity under 30-40 cd/m<sup>2</sup> background luminance.

J Korean Ophthalmol Soc 49(3):471-478, 2008

**Key Words:** Electroretinography, Light-emitting diodes (LEDs), OFF-response, ON-response

---

Address reprint requests to **Young-Hoon Ohn, M.D.**

Department of Ophthalmology, College of Medicine Soonchunhyang University  
#1174 Jung-dong, Wonmi-gu, Bucheon-si, Gyeonggi-do 420-767, Korea  
Tel: 82-32-621-5053, Fax: 82-32-621-5344, E-mail: yhoohn@sch.ac.kr